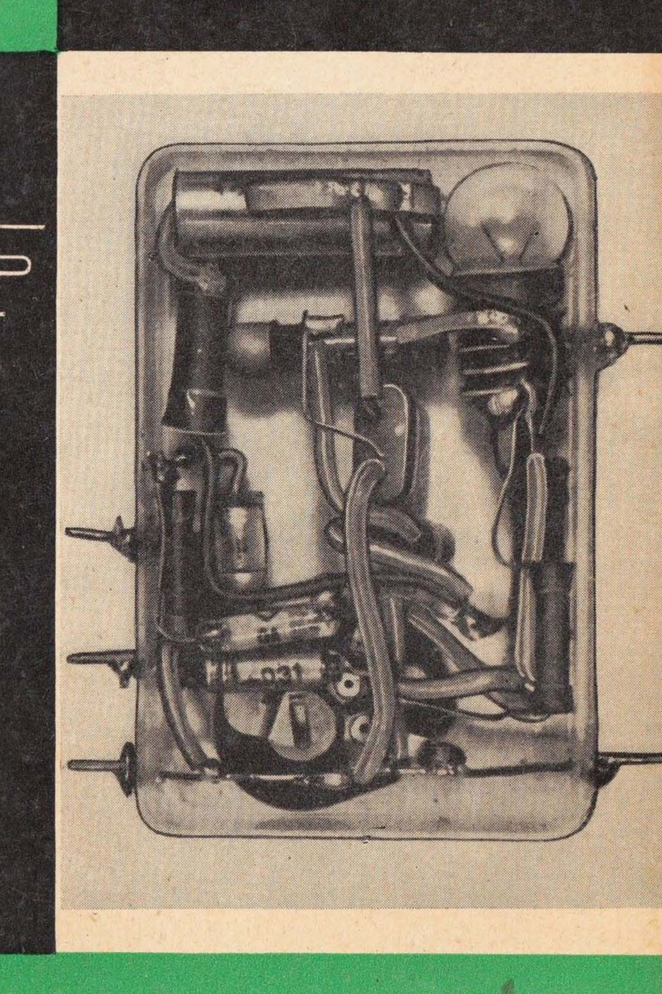
40

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Transistormeßgeräte

Der praktische Funkamateur · Band 40

Transistormeßgeräte

Hagen Jakubaschk

Transistormeßgeräte



Deutscher Militärverlag

Redaktionsschluß: 10. Februar 1963

Vorwort

Ein bestimmtes Minimum an meßtechnischer Ausstattung ist für eine sinnvolle und zielbewußte Amateurtätigkeit unumgänglich. Wenn trotz dieser altbekannten Tatsache die Meßausrüstung vieler Amateure noch sehr dürftig ist, so liegt das meist am Aufwand. Insbesondere die herkömmliche Röhrentechnik erfordert viele kostspielige Meß- und Prüfgeräte, wobei sich oft die Frage ergibt, ob die Anschaffung überhaupt lohnt. Für Kollektivstationen, Arbeitsgemeinschaften und so weiter ist diese Frage im allgemeinen zu bejahen, anders sieht es aber schon beim Einzelamateur und erst recht beim Bastelanfänger aus. Für ihn rentiert sich ein aufwendiges Röhrenvoltmeter nicht, wenn es nur ab und zu einmal benutzt wird. Andererseits können die Geräte nur dann planvoll weiterentwickelt werden, wenn entsprechende Meßhilfen vorhanden sind. Allein der Vielfachmesser — wohl immer das erste Meßgerät des Amateurs und die Voraussetzung, sich allmählich eine komplette Meßausrüstung zu schaffen — reicht schon für einfachere Arbeiten oft nicht aus.

Im vorliegenden Heftchen sollen eine Reihe von einfachen Meßgeräten und Meßverfahren beschrieben werden, die mit Halbleitern arbeiten. Die Meßgeräte und Meßverfahren sind sämtlich für den Amateurgebrauch gedacht und in ihrem Verhältnis zwischen Aufwand und Leistungsfähigkeit darauf abgestimmt. Die Geräte können wir in vielen Fällen so klein wie Taschengeräte ausführen. Auf Grund der preisgünstigen Bauelemente werden sie in jedem Fall billiger als analoge Röhrengeräte. Durch Transistoren können viele Meßgeräte, unter Berücksichtigung der für Amateurzwecke ausreichenden Genauigkeit (Konstanz usw.), soweit vereinfacht wer-

den, daß es auch für den Amateur sinnvoll ist, sie selbst herzustellen.

Zu unterscheiden ist zwischen Prüfgeräten, die für die Messung der Transistoreigenschaften (Funktionsfähigkeit und wichtigste Daten) bestimmt sind, und solchen, die es ermöglichen — mit Transistoren anstelle von Röhren bestückt —, allgemeine Werkstatt-Meßaufgaben zu lösen. Beide Kategorien werden hier behandelt.

Die Auswahl der hier gezeigten Schaltungen — sämtlich im Labor des Verfassers erprobt und zum Teil speziell für die Amateurpraxis entwickelt — erfolgte so, daß vor allem dem Anfänger Hilfsmittel für seine Weiterbildung gegeben werden. Kompliziertere Geräte, wie durchstimmbare Tongeneratoren, sowie alle Schaltungen, die nicht unmittelbar unter den Begriff „Meßhilfsmittel" fallen, wurden hier nicht berücksichtigt. Derartige Schaltungen sind in den vorangegangenen Heften dieser Broschürenreihe (siehe Literaturhinweise am Schluß) zu finden. Das vorliegende Heft ist insbesondere als in sich geschlossene Ergänzung zu den Heften Nr. 20 (Transistorschaltungen Teil I), Nr. 28 (Elektronikschaltungen für Amateure) und Nr. 35 (Transistorschaltungen Teil II) des Verfassers gedacht.

In den hier gezeigten Schaltungen wird weitgehend auf bestimmte Typenvorschriften für die Transistoren verzichtet. Soweit nicht im Text anders erwähnt, können dann alle entsprechenden Transistoren der Typenreihen OC 810···823, OC 824···829, OC 870···872 sowie die entsprechenden billigen „Bastlertypen" verwendet werden. Deshalb sind anstelle von Typenvorschriften vorwiegend die an die jeweiligen Exemplare zu stellenden Anforderungen genannt. Typenangaben im Schaltbild beziehen sich auf die Typen, mit denen die betreffende Schaltung erprobt wurde. Diese Regelung ist gewählt worden, um alle Exemplardaten zu berücksichtigen, die innerhalb der Typen stark streuen. Der Amateur hat große Auswahl, gerade vorhandene Transistoren zu verwenden, ohne Vergleichstabellen studieren zu müs-

sen. Es ist dann immer besser, aus dem vorhandenen Vorrat oder beim Einkauf auf dem Ladentisch, Exemplare ohne starre Bindung an Typen „herauszumessen“, die in ihren Daten den jeweiligen Anforderungen am besten entsprechen. Grundsätzlich wurde daher zwischen der veralteten Transistor-Bauform in ovalem Gehäuse und den neuen Typen im runden Gehäuse nicht unterschieden.

Brandenburg, im November 1962 Hagen Jakubaschk

A. Geräte zum Prüfen und Messen von Transistoren und Dioden

Die in diesem Abschnitt behandelten Geräte ermöglichen eine überschlägige Prüfung von Halbleitern auf Intaktheit und die Messung der für den Amateur wichtigsten Daten (Kollektor-Reststrom bei offener Basis, Stromverstärkungsfaktor in Emitterschaltung, Kennlinienvergleich zur Auswahl von Transistor-Pärchen).

Meßanordnungen zur Bestimmung der Grenzfrequenz von HF-Transistoren werden aus folgenden Gründen nicht beschrieben:

Eine exakte Messung der Grenzfrequenz ist meßtechnisch nur mit großem Aufwand möglich und für den Amateur technisch zu schwierig. Bekannt sind vereinfachte Verfahren („Grenzfrequenz-Tester" u. ä.), die entweder derart ungenaue Ergebnisse liefern, daß das „Meßergebnis" selbst für Amateurzwecke untauglich ist, oder aber sehr leicht Gelegenheit zu Fehlmessungen und Trugschlüssen geben. Darüber hinaus hängt das HF-Verhalten eines Transistors nicht nur vom Transistor selbst ab, sondern auch weitgehend von den Parametern der Schaltung, in der er betrieben werden soll. Ein meßtechnisch ermittelter Wert für eine Grenzfrequenz ist daher niemals ohne weiteres für die Schaltungspraxis zu übernehmen. Die letzte Entscheidung, ob der Transistor die an ihn gestellten Forderungen hinsichtlich des HF-Verhaltens erfüllt, kann nur durch Versuchsbetrieb in der vorgesehenen Schaltung erfolgen. Deshalb wird hier auf die Behandlung einer Meß- und Prüfmöglichkeit für die Grenzfrequenz eines Transistors, deren Wert gerade in der Amateurpraxis ohnehin sehr umstritten ist, bewußt verzichtet. Nähere Einzelheiten hierzu sind unter [1] zu finden.

1. Einfache Prüfvorrichtung für Transistoren und Dioden

Um Halbleiter – Transistoren, Dioden aller Art, Kleingleichrichter, Sirutoren und so weiter – auf Sperrwirkung prüfen zu können, genügt bereits eine einfache Schaltung (Bild 1), die man nach Bedarf aus einer Flachbatterie, einem Widerstand, einigen Prüfschnüren und einem geeigneten Strommesser (wenn vorhanden, sind ein Vielfachmesser, Multizet o. ä. gut geeignet) schnell zusammensteckt. Sie entspricht im Grunde genommen einem einfachen Durchgangsprüfer, dessen Spannung und maximaler Stromfluß durch geeignete Bemessung von Batterie und Widerstand so gehalten sind, daß der Halbleiter nicht beschädigt wird. Die hier auftretende Spannung von 4,5 V und der Strom von maximal 4,5 mA sind für jeden üblichen Halbleiter ohne weiteres zulässig. Wer über ein Ohmmeter mit eingebauter Batterie („Multiprüfer") verfügt, kann dieses verwenden, sofern die Batteriespannung nicht über 4,5 V und der bei Kurzschluß (0 Ohm) fließende Strom nicht über 4 bis 5 mA liegt, was man zuvor durch Anschluß eines Strommessers ermitteln kann.
Zur Prüfung von Dioden und Kleingleichrichtern ist wenig zu sagen. Sie müssen – in Bild 1 bei + und – angeschlossen – je nach Polung Durchgang (geringer Widerstand), in umgekehrter Richtung Sperrwirkung (sehr hoher Widerstand, nur minimaler, kaum erkennbarer Stromfluß) aufweisen. Wird in beiden Richtungen Durchgang gezeigt, ist der Halbleiter beschädigt (Sperrschicht durchgeschlagen), ergibt die Messung in keiner Richtung Durchgang, so ist vermutlich im Inneren des Halbleiters eine Zuleitung durch Überlastung abge-

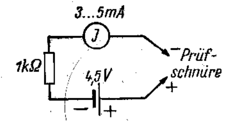
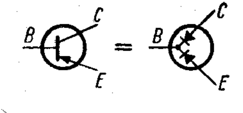


Bild 1
Einfache Prüfanordnung für Halbleiter

Bild 2
Die beiden Sperrschichten eines Transistors Basis—Kollektor und Basis—Emitter (links) können als Reihenschaltung zweier gegensinnig gepolter Dioden aufgefaßt werden (rechts)



schmolzen und der Halbleiter ebenfalls unbrauchbar. Bei einem intakten Halbleiter können wir im übrigen gleich den Katodenanschluß kennzeichnen, falls er unbekannt ist: In Durchgangsrichtung gepolt, liegt die Katode am Minuspol der Prüfschnur (Bild 1).
Bei der überschlägigen Prüfung von Transistoren mit der Einrichtung nach Bild 1 gehen wir davon aus, daß ein Transistor als Reihenschaltung zweier entgegengesetzt gepolter Dioden aufgefaßt werden kann, wie Bild 2 zeigt. Eine Diode liegt zwischen dem Basis- und dem Emitteranschluß, die andere in der Basis-Kollektor-Strecke. Der Basisanschluß ist dann die gemeinsame „Katode“ beider Dioden. Wir können also den Transistor ebenso wie eine Diode nach Bild 1 ausprüfen, indem einmal die Anschlüsse Basis und Emitter, zum anderen die Anschlüsse Basis und Kollektor in beiden Richtungen geprüft werden. Mit Minus an der Basis muß dabei jeweils nahezu Durchgang (geringer Widerstand) vorhanden sein, mit Plus an der Basis jeweils Sperrwirkung. Bei Abweichungen gilt sinngemäß das soeben für Gleichrichter Gesagte. Zwischen den Anschlüssen Kollektor und Emitter darf dagegen in keinem Fall Durchgang bestehen, gleichgültig wie die Prüfanschlüsse aus Bild 1 gepolt sind. Hierbei sind ja beide Dioden gegenpolig in Serie geschaltet, so daß bei jeder Polung eine von beiden sperrt.

1.1. Ermittlung der Anschlüsse unbekannter Transistoren

Haben wir einen Transistor, dessen Anschlüsse uns nicht bekannt sind, dann tasten wir am besten mit der

Prüfvorrichtung nach Bild 1 jeweils 2 der vorhandenen 3 Drähte ab. Hat der Transistor (bei einigen Importtypen) mehr als 3 Drähte, so ist der vierte Draht meist die Abschirmung und mit dem Metallgehäuse verbunden. Wir ermitteln ihn, indem wir auf Durchgang zwischen Gehäuse und einem der Drähte prüfen. Diesen Draht lassen wir dann beiseite. Bei Transistoren mit 3 Drähten ist häufig einer der Drähte gleichzeitig mit dem Gehäuse verbunden (meist Kollektor), was wir zuletzt durch Prüfung auf Durchgang in beiden Richtungen zwischen Gehäuse und dem zugehörigen Draht ermitteln (zu beachten beim Einbau wegen Kurzschlußgefahr des Gehäuses mit anderen Bauteilen). Hat der Transistor nur 2 Anschlußdrähte, ist der fehlende dritte Pol in jedem Falle das Gehäuse. Das ist nur üblich bei Leistungstransistoren.

Durch Prüfung jeweils zweier Drähte gegeneinander ermitteln wir 2 Drähte, zwischen denen in keiner Richtung Durchgang besteht, während bei anderen Anschlußkombinationen immer in einer Richtung Durchgang, in Gegenrichtung Sperrwirkung auftritt. Die in beiden Richtungen Sperrwirkung ergebenden 2 Anschlüsse werden, wie aus Bild 2 leicht erkennbar, Kollektor und Emitter sein, der dritte Draht ist dann die Basis. So wurde zunächst der Basisanschluß eindeutig bestimmt. Die Unterscheidung zwischen Emitter und Kollektor ist mit der Vorrichtung nach Bild 1 nicht ohne weiteres möglich, da beide Diodenstrecken ja nahezu gleichartig reagieren. Tatsächlich zeigt ein Transistor auch dann geringe Verstärkerwirkung, wenn beim Einbau in ein Gerät Emitter und Kollektor versehentlich vertauscht wurden. Die Unterscheidung von Emitter und Kollektor ist also nur dadurch möglich, daß wir feststellen, in welcher Anschlußweise der Transistor größere Verstärkung aufweist. Das kontrolliert man am besten mit einem Transistor-Prüfgerät nach Bild 3 oder Bild 4 (Abschnitt A. 2., A. 3.). Der durch die Vorprüfung bekannte Basisanschluß wird entsprechend ange-

schlossen, darauf werden Kollektor und Emitter bei der Messung vertauscht. Die Anschlußweise, die die größere Stromverstärkung ergibt, ist die richtige, und Emitter und Kollektor sind eindeutig bestimmt. Der eventuell vorhandene vierte Anschluß (Abschirmung, Gehäuse) hat mit den anderen 3 Drähten im allgemeinen keinerlei Verbindung und gehört normalerweise immer an Masse.

2. Einfache Meßvorrichtung für Stromverstärkung und Reststrom

Die hier beschriebene Vorrichtung erfordert neben einem 1-mA-Meßinstrument (für das auch ein vorhandener Vielfachmesser mit entsprechendem Meßbereich benutzt werden kann) nur wenige Kleinteile. Es erlaubt, den Kollektor-Reststrom bei offener Basis (in den Datenblättern meist als I_{ceo} oder I'_{co} angegeben) und den Stromverstärkungsfaktor (h_{21e} oder β in den Datenblättern) in Emitterschaltung direkt abzulesen. Für den Amateur sind fast ausschließlich diese beiden Werte von Bedeutung.

Bild 3 zeigt die Schaltung. Der 4stufige Schalter S dient in Stellung „0“ gleichzeitig als Ausschalter. Er wird zweckmäßig zusammen mit der 4,5-V-Flachbatterie, der Drucktaste Ta, den Widerständen R 1 bis 3 und dem Instrument I (oder, wenn der Vielfachmesser benutzt wird, den hierfür bestimmten Anschlußbuchsen) in einem kleinen Kästchen montiert. An einer Schmalseite

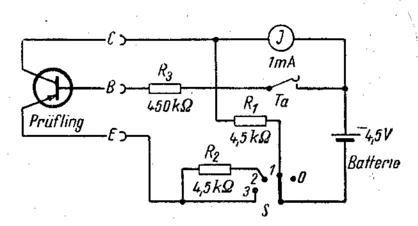


Bild 3
Einfache Meßeinrichtung für Transistoren

werden dann 3 Buchsen oder festgeschraubte Krokodilklemmen für die Anschlüsse C, B, E des zu prüfenden Transistors angeordnet.

Das Meßgerät I soll, um ein einfaches Ablesen zu ermöglichen, eine 30teilige Skala haben. Die abgelesenen Werte stimmen strenggenommen nur, wenn eine genaue Batteriespannung anliegt. Eine um etwa 10 % zu niedrige Batteriespannung ist jedoch trotzdem möglich, weil die dann erhaltenen, ebenfalls um etwa 10 % zu niedrigen Werte für die Praxis realer sind. Gemessen wird ja hier die Kurzschlußstromverstärkung, deren Wert praktisch ausgeführte Schaltungen nie ganz erreichen.

Zunächst wird Schalter S in Stellung 1 geschaltet („Batteriekontrolle"). Über R 1 — dessen Wert ebenso wie bei R 2 und R 3 genau einzuhalten ist — fließt dann bei intakter Batterie ein Strom von genau 1 mA. Das Meßgerät zeigt also gerade Vollausschlag, der als Kontrolle für eine einwandfreie Batterie gilt. In Stellung 2 des Schalters S wird die Emitter-Kollektorstrecke des Transistors auf Schluß (durchgeschlagene Sperrschicht) geprüft. R 2 dient dabei als Schutzwiderstand für das Instrument. Zeigt das Instrument fast Vollausschlag, so ist der Transistor defekt, und es darf nicht weitergeprüft werden. Entsteht nur ein geringer Ausschlag, (weniger als etwa ⅔ der Skala), so wird S in Stellung 3 gestellt. Man kann dann am Instrument den Kollektor-Reststrom ablesen. Diese Prüfeinrichtung ist für Transistortypen bis etwa 300 mW gedacht, für höher belastbare Transistoren wären bei I ein höherer Strombereich und für R 1 bis 3 entsprechend geänderte Werte erforderlich. Bei Transistoren der Leistungsklasse unter 300 mW soll der höchstzulässige Kollektor-Reststrom unter 1 mA liegen, der genaue Grenzwert ist aus den Datenblättern ersichtlich. Für die Typen der Reihen OC 810···822, 823···829, 870···872 sind meist 0,8 mA der tabellenmäßige Höchstwert, Normalwerte erfahrungsgemäß bei 0,1 bis 0,4 mA. Je geringer der Rest-

strom, um so günstiger wirkt sich das im allgemeinen auf die Verwendbarkeit aus.
Anschließend wird in Stellung 3 des Schalters S durch Drücken der Taste Ta die Stromverstärkung in Emitterschaltung gemessen. Hierbei wird über R 3 der Basis ein Strom von 10 μA „aufgeprägt", die dadurch verursachte Erhöhung des Kollektorstroms ist dem Stromverstärkungsfaktor direkt proportional. Es entspricht dabei eine Kollektorstromerhöhung von je 0,1 mA einem Stromverstärkungsfaktor von je 10. Bei einer 30teiligen Instrumentenskala — jeder Teilstrich dann $\approx$ 0,033 mA — entspricht also jeder Teilstrich einem Stromverstärkungsfaktor von rund 3,3. Meßbar sind mit dieser Einrichtung also Stromverstärkungen je nach Kollektor-Reststrom bis knapp 100. Durch eine Meßbereichserweiterung am Instrument (Vielfachmesser, 3-mA-Bereich) können auch höhere Verstärkungen gemessen werden. Beim Ablesen ist der vom Kollektor-Reststrom verursachte Grundausschlag abzuziehen. Beispiel: Kollektor-Reststrom in Stellung 3, Ta offen: 8 Teilstriche = rund 0,26 mA = 260 μA. Anzeige der 30teiligen Skala bei Drücken von Ta: 28 Teilstriche, hiervon 8 Teilstriche ab, Zunahme also 20 Teilstriche entsprechend $20 \cdot 3{,}3$ = rund 66. Die Stromverstärkung dieses Transistors beträgt 66.

3. Transistor-Reststrom- und Stromverstärkungs-Meßgerät mit mehreren Meßbereichen und Zusatzausrüstungen

Das in Bild 3 gezeigte einfache Meßgerät kann noch nicht alle Ansprüche befriedigen. Kleine Kollektor-Restströme lassen sich schlecht ablesen, große Restströme engen den Meßbereich nach oben ein, höhere Werte der Stromverstärkung sind ohne Bereichsumschaltung am Instrument überhaupt nicht meßbar. Ein Transistorprüfer mit größerem Aufwand lohnt sich für folgende Zwecke:

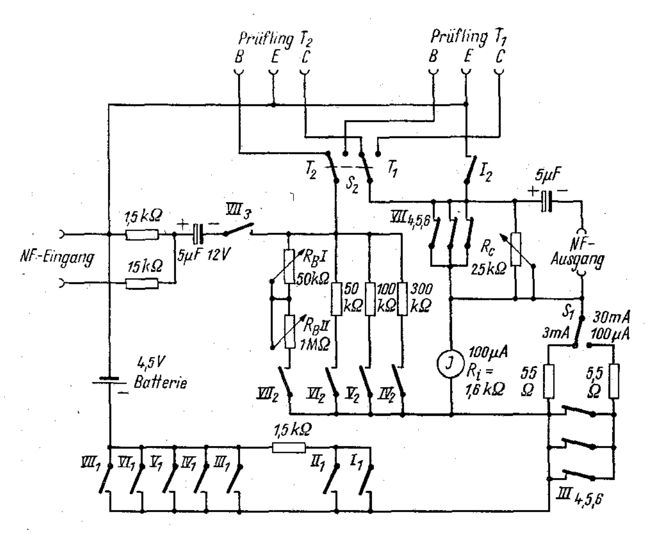


Bild 4 Schaltung eines allen Anforderungen der Amateurpraxis genügenden Transistor-Prüfgeräts. Erläuterung im Text

– zum Ausmessen von Transistoren aus dem eigenen Vorrat;
– zum Aussortieren verbilligter Transistoren beim Einkauf.

Ein solches Gerät, das sich beim Verfasser bestens bewährt hat und das nach dem in Bild 3 gezeigten Prinzip arbeitet, wird hier beschrieben. Bild 4 zeigt die Schaltung.

Das Gerät benutzt einen 7teiligen Neumann-Tastenschalter als Betriebsarten-Umschalter. Jede Taste hat 3 Arbeits- und 3 Ruhekontakte; in Bild 4 sind die Tasten mit I bis VII, die zugehörigen Kontakte mit Index 1 bis 3 (Arbeitskontakte) und 4 bis 6 (Ruhekontakte) gekennzeichnet (IV_2 ist also ein Arbeitskontakt der Taste IV, der schließt, wenn man Taste IV gedrückt hat).

In Stellung „Aus“ sind alle Tasten ausgeklinkt. Beim Neumann-Tastenschalter ist das durch halbes Eindrükken einer Taste leicht möglich. Die Tasten haben folgende Funktion:

I: Batterie-Kontrolle
II: Schluß-Prüfung Emitter-Kollektor
III: Kollektor-Reststrom-Messung
IV: Stromverstärkung bis 180 (Skalenanzeige mal 6)
V: Stromverstärkung bis 60 (Skalenanzeige mal 2)
VI: Stromverstärkung bis 30 (Skalenanzeige mal 1)
VII: „Regler“ (In dieser Stellung können wir beliebige Arbeitspunkte einstellen und das dynamische Verhalten und das Rauschen prüfen sowie die Kennlinien zweier Transistoren vergleichen.)

Die Funktion ähnelt weitgehend der des Gerätes nach Bild 3. In Stellung I wird die Batteriespannung kontrolliert. Das Gerät enthält ein eigenes Meßwerk (100-μA-Meter), was in diesem Falle günstiger ist als die Verwendung eines lose angeschlossenen Instrumentes (Vielfachmesser o. ä.). Das Meßwerk wurde mit 30teiliger Skala versehen. In Stellung I schließen Kontakte I_1 und I_2, über den Widerstand 1,5 kOhm kommt jetzt ein Strom von 3 mA zustande. Dem Instrument I liegt über Umschalter S 1 (dessen Normalstellung links „3 mA“ ist) der Widerstand 55 Ohm parallel, womit das Instrument auf 3 mA geshuntet ist. Bei intakter Batterie zeigt es also Vollausschlag. Schalter S 2 gestattet es, die Meßanschlüsse bequem zwischen 2 zu prüfenden Transistoren (die bei T 1 und T 2 angeschlossen werden) zu wechseln, so daß direkter Vergleich beider Prüflinge möglich ist. — In Tastenstellung II („Schlußprüfung“) existiert der gleiche Stromkreis wie bei I, lediglich ist I_2 jetzt geöffnet, und im Stromkreis liegt die Emitter-Kollektor-Strecke des Prüflings. Falls jetzt Durchgang angezeigt wird, ist die Kollektor-Sperrschicht des Transistors zerstört. Die Prüfung darf dann nicht fortgesetzt werden. — In Stellung III messen wir den Kollektor-Reststrom. Der Stromkreis entspricht der Stellung 3 des Schalters S in

Bild 3, hier über Kontakt III_1. Geringere Restströme (unter 100 μA) können jetzt abgelesen werden, indem Schalter S 1 nach rechts umgeschaltet wird (Stellung „30 mA/100μA"). In allen anderen Bereichen des Tastenschalters wird damit der Instrumentbereich auf 30 mA erweitert (Umschaltung vom 55-Ohm-Shunt auf den 5,5-Ohm-Shunt), in Bereich III öffnen aber die Kontakte $III_{4 \text{ bis } 6}$ (sie wurden hier zur Verringerung des Kontaktübergangswiderstands parallelgeschaltet, da etwaige Kontaktwiderstände sich zum relativ niederohmigen Shunt addieren und Meßfehler verursachen können), so daß das Instrument jetzt ohne Shunt mit voller Empfindlichkeit arbeitet. Im 100-μA-Bereich können nun auch kleine Restströme, Sperrströme von Dioden und so weiter noch bequem abgelesen werden. Zum Schutz des Instruments ist die volle Meßwerkempfindlichkeit nur im Bereich III einzuschalten, wo sie tatsächlich gebraucht wird, außerdem wird damit die Bereichsumschaltung mit S 1 – einem einfachen Kippschalter – übersichtlicher. – Die Bereiche IV bis VI sind die Stromverstärkungs-Meßbereiche, von denen im Gegensatz zu Bild 3 hier zum besseren Ablesen 3 vorgesehen wurden. Über Kontakt IV_1, V_1 oder VI_1 wird wieder der Stromkreis analog Bild 3 (Schalterstellung 3 des dortigen Stufenschalters) gebildet, das Instrument schalten wir über S 1 auf 3 mA (Normalstellung, S 1 ist entsprechend gekennzeichnet). Über Kontakt IV_2, V_2 oder VI_2 wird nun der Basis ein geeignet bemessener Strom aufge„prägt" (entspricht Taste Ta in Bild 3). Die entsprechenden Widerstände sind hier so bemessen, daß im Bereich VI jeder Skalenstrich einer Einheit des Stromverstärkungsfaktors entspricht (maximal also 30), in Bereich V je Skalenstrich 2 und in Bereich IV je Skalenteil 6 Einheiten. Entsprechend muß die Ablesung je nach gedrückter Taste mal 1, 2 oder 6 genommen werden, und es ergibt sich bei guter Ablesegenauigkeit ein Meßbereich bis zum Stromverstärkungsfaktor 180. Sollte dies in Einzelfällen noch nicht ausreichen, kann in Be-

reich VI mit dem auf 30 mA mit S 1 umgeschalteten Instrument gemessen werden, was einem Meßbereich bis 300 entspricht. — Die Basisvorwiderstände an den Kontakten IV_2 bis VI_2 wurden, um auf handelsübliche Normwerte zu kommen, so bemessen, daß sie den Wert um rund 10 % zu niedrig anzeigen. Dies kommt, wie schon im vorigen Abschnitt gesagt, gleichzeitig den praktischen Verhältnissen in der Gerätetechnik entgegen.

Beim Ablesen müssen wir auch hier den Kollektor-Reststrom abziehen. Bei der Prüfung werden die Tasten I bis VI in der Reihenfolge ihrer Bezifferung gedrückt, wobei der in Stellung III angezeigte Skalenausschlag in Teilstrichen zu merken ist. Die Stromverstärkung wird in dem Bereich abgelesen, in dem sich ein günstig ablesbarer Ausschlag einstellt. Von diesem Ausschlag werden die in III abgelesenen Teilstriche abgezogen, der Rest ist mit dem für den Bereich geltenden Umrechnungsfaktor zu multiplizieren und ergibt die Stromverstärkung. Beispiel: In Stellung III wird 1 Teilstrich angezeigt (entspricht 100 μA Reststrom, genau abzulesen durch Umschalten von S 1). In Stellung IV stellt sich nur geringe Erhöhung, in V ein Ausschlag von 10 Teilstrichen ein, in VI demgemäß von 20 Teilstrichen. Abgelesen wird in VI: 20 — 1 Teilstrich = 19 Teilstriche, für Bereich VI mal 1 = 19. Die Stromverstärkung beträgt rund 19.

Bereich VII arbeitet grundsätzlich wie die vorangegangenen Bereiche, jedoch ist jetzt der Basisstrom mit beiden Reglern R_BI und R_BII frei einstellbar. Beide Regler müssen, bevor die Taste VII gedrückt wird, auf höchstem Widerstand stehen, um den Transistor nicht zu überlasten. Mit Hilfe dieser Regler kann jetzt im Rahmen der zulässigen Höchstbelastung für den betreffenden Transistor jeder gewünschte Kollektorstrom eingestellt werden, der am Instrument (je nach gewünschtem Arbeitspunkt mit S 1 auf 3 mA oder 30 mA geschaltet) ablesbar ist. Gleichzeitig öffnen die Kontakte $VII_{4 \text{ bis } 6}$, die bisher den Kollektor-Regelwiderstand R_C

überbrückten. Mit R_C kann nun zwischen 0 bis 25 kOhm ein beliebiger Kollektorwiderstand eingestellt und damit zum Beispiel die Schaltung einer Transistor-Verstärkerstufe nachgebildet werden. Der Kontakt VII_3 schließt außerdem den NF-Eingang über einen 5-μF-Elko an die Basis an. Die dort zugeführte NF-Spannung beliebiger Art wird zunächst im Verhältnis 1 : 10 unterteilt. Parallel zum Kollektorwiderstand R_C kann die NF-Spannung über einen Elko wieder abgenommen und mit Kopfhörer abgehört oder anderweitig verwendet werden. Es ist also möglich, den zu prüfenden Transistor in echtem Verstärkerbetrieb zu testen. Dabei können wir mit R_BI, R_BII und R_C die günstigsten Betriebswerte ermitteln und den Einfluß auf die Transistorfunktionen bei ihrer Änderung erproben. Die 1 : 10-Unterteilung am NF-Eingang bezweckt dabei einmal eine konstante, hinreichend niederohmige Speisung des Prüflings, zum anderen einen konstanten Abschluß der NF-Quelle, um Rückwirkungen vom Prüfling auf die Quelle zu vermeiden. Außerdem liegt dann die Ausgangsspannung bei üblichen β- und R_C-Werten etwa in der Größenordnung der Eingangsspannung (Spannungsverstärkung der Transistorstufe größenordnungsmäßig meist bei etwa 10), was wiederum die Zusammenschaltung mit anderen Geräten erleichtert. Für die Amateure, die über einen Oszillografen mit Rechteckgenerator verfügen, sei ein interessanter Hinweis gegeben: Durch Einspeisen eines Rechtecks und dessen Beobachtung am Ausgang des Transistorprüfers können wir mit etwas Erfahrung weitgehende Schlüsse auf das HF-Verhalten des Prüflings sowie auf sein Impulsverhalten (Schaltertransistoren) ziehen (die etwa gleiche Spannungshöhe mit der eingespeisten Spannung erleichtert dabei den oszillografischen Vergleich). Durch Einspeisen einer Sinusfrequenz und Beobachtung auf Begrenzungseffekte erhält man mit R_B und R_C sehr leicht die für maximale Aussteuerungsfähigkeit günstigste Einstellung. Die Regler R_BI, R_BII und R_C sind in Ohmwerten geeicht. Die

abgelesenen Werte können wir also direkt für die Geräteschaltung, in der der Prüfling benutzt werden soll, nach eventueller Umrechnung auf andere Batteriespannungen übernehmen. Im übrigen genügt es meist, den am Instrument für die günstigste Einstellung abgelesenen Kollektorstrom sowie den an R_C abgelesenen Wert des Kollektorwiderstands zu übernehmen. Der Kollektorstrom wird dann im fertigen Gerät auf den am Transistorprüfer abgelesenen Wert eingestellt.

Ein Vergleich zweier Transistoren auf Kennlinienübereinstimmung geschieht ebenfalls in Stellung VII, R_C in Stellung 0 Ohm. Mit den Basisreglern wird dann die gesamte Kennlinie vom geringsten Kollektorstrom bis zum höchstzulässigen Strom (30 mA, das Gerät ist nur für Transistoren bis etwa 200 mW vorgesehen) „durchfahren“, und bei den einzelnen Strömen werden T 1 und T 2 durch Umschalten von S 2 verglichen. Für normale Pärchen-Bedingungen sind Abweichungen der

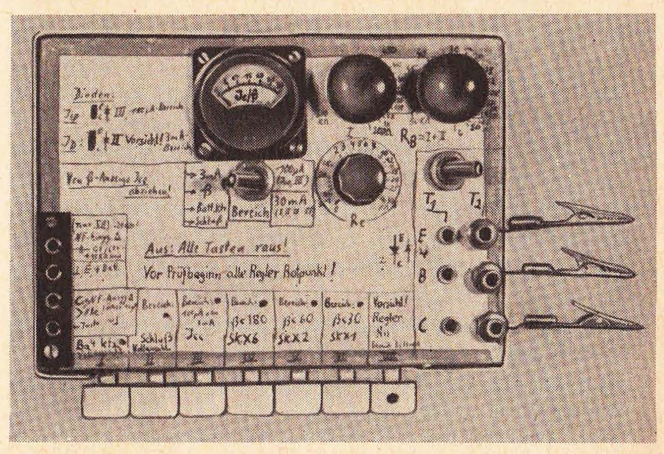


Bild 5 Ansicht eines Transistorprüfgeräts nach Bild 4. An die rechts sichtbaren Krokodilklemmen wird der Prüfling angeklemmt. Als Gehäuse diente hier eine flache Schachtel in der Höhe des Tastenschalters. Erklärungen im Text

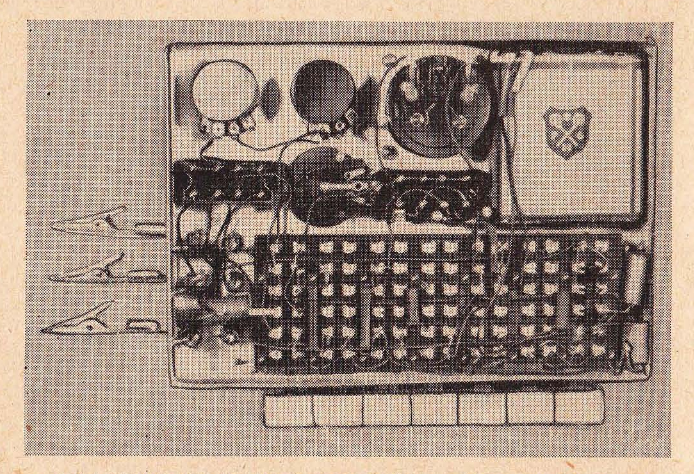


Bild 6 Blick in die Verdrahtung des Geräts nach Bild 5. Die Widerstände sind zum Teil zwischen den Kontakten des Tastenschalters untergebracht. Die Batterie ist fest eingelötet

Ströme beider Transistoren von 20 % eben noch zulässig, sofern die Kollektor-Restströme (in Stellung III verglichen) nicht mehr als 15 bis 20 % differieren. Es kann dann geschehen, daß 2 in Stellung IV bis VI gemessene, recht gut übereinstimmende Stromverstärkungswerte bei höheren Kollektorströmen entweder stärker differieren (ungünstig) oder noch besser übereinstimmen.

Die Fotos zeigen den Aufbau des Mustergeräts. Bild 5 zeigt das in ein flaches Kästchen eingebaute Gerät. Die ausführliche Beschriftung war hier im Hinblick auf die vorgesehene Bedienung durch angelernte Hilfskräfte erforderlich, wäre aber auch dann empfehlenswert, wenn das Gerät nicht ständig in Gebrauch ist. Unter dem Instrument, einem kleinen 100-μA-Einbau-Drehspulinstrument relativ einfacher Ausführung, befindet sich der Bereichsumschalter S 1, rechts oben die Basisregler R_BI und R_BII für den Bereich VII, darunter der

Regler R_C und Umschalter S 2. Für die Anschlüsse des Prüflings sind je 3 Steckbuchsen vorgesehen, für einen der Anschlüsse außerdem noch 3 Krokodilklemmen, in die der Prüfling schnell eingespannt werden kann. NF-Eingang und -Ausgang fanden links vorn Platz, der Tastenschalter an der vorderen Schmalkante. Erwähnt sei noch, daß im Bereich VII auch mittels Kopfhörer ein Abhören des Transistorrauschens, falls es anormal stark auftritt, möglich ist. Dioden können zwischen den Anschlüssen für Emitter und Kollektor in Bereich II auf Durchgang und in Bereich III auf Sperrstrom geprüft werden.

Bild 6 zeigt die Verdrahtung. Den verfügbaren Raum füllt zum großen Teil der Tastenschalter aus. Die Batterie wurde auf Grund der geringen Beanspruchung fest eingelötet.

Abschließend noch einige Hinweise für die praktische Prüfung von Transistoren mit diesem Gerät: Gelegentlich kommt es vor, daß ein Transistor in Stellung III (Reststrom-Messung) langsam ansteigenden Reststrom zeigt. Steigt der Reststrom dabei über etwa 1 mA an, so ist der Transistor unbrauchbar. Es ist zweckmäßig, diesen Anstieg in Tastenstellung II zu beobachten, um nicht bei einem möglichen plötzlichen Durchschlag des Transistors in Stellung III das Instrument zu gefährden. Ursache ist meist ein undichtes Gehäuse beziehungsweise eine Schädigung der Sperrschicht-Oberfläche durch eingedrungene Fremdatome (Feuchtigkeit!). Derartige Transistoren rauschen meist auch sehr stark (in Bereich VII mit $R_C \sim 1$ kOhm abhören!), sie sind noch bedingt für einfache Multivibrator- oder Sperrschwingerschaltungen zu verwenden. Mitunter setzt der Anstieg auch erst bei höherer Kollektorstrombelastung ein (verdächtige Transistoren dann im Bereich VII mit $R_C = 0$ und etwa 2,5 mA Kollektorstrom [25-mW-Typen] bzw. 25 mA [150-mW-Typen] betreiben und auf möglichen Anstieg beobachten; bei Anstieg Prüfung sofort abbrechen!), oder der Transistor zeigt nach erfolg-

ter Stromverstärkungsmessung einen höheren Kollektor-Reststrom als vorher. Derartige Transistoren können, falls sie nicht stark rauschen, in stromarmen Anfangsstufen von Verstärkern und ähnlichen Geräten, wo sie mit sehr geringen Kollektorströmen und Spannungen beziehungsweise hohen Kollektor- und Basiswiderständen betrieben werden, noch vollwertig brauchbar sein. Man darf sie aber nicht in Endstufen einsetzen, da dort eventuell die Gefahr des „Hochlaufens“ und der Zerstörung besteht. Kennlinienvergleich und Rauschfaktorprüfung sind mit diesem Gerät nur grob überschlägig möglich, was aber für die Amateurpraxis meist schon reicht. Besondere Geräte dafür werden im folgenden beschrieben.

4. Brücken-Meßgerät zum Kennlinienvergleich von Transistoren

Ein exakter Kennlinienvergleich müßte normalerweise durch ein dynamisches Meßverfahren durchgeführt werden; das übersteigt aber bei weitem die Möglichkeiten des Amateurs und ist für ihn auch nicht erforderlich. Eine Schaltung, mit der ein Vergleich der statischen Kennlinien zweier Transistoren zur Pärchenbestimmung

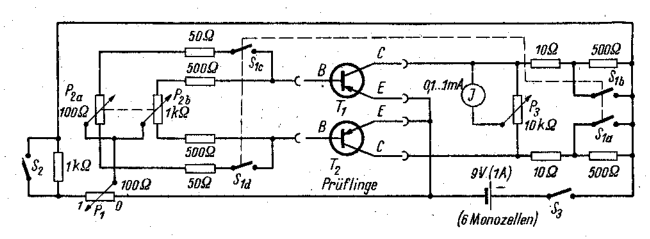


Bild 7 Schaltung der Kennlinien-Vergleichs-Meßbrücke zum Aussortieren von Transistorpaaren. Das Gerät erlaubt ein stetiges „Durchfahren“ der gesamten Kennlinie, wobei die Kennliniendifferenzen beider Prüflinge als Verhältniswert ohne Angabe definierter Ströme erfaßt werden können. Erklärung im Text

möglich ist, zeigt Bild 7. Die Emitter-Kollektor-Strekken der zu prüfenden Transistoren T 1 und T 2 bilden mit ihren Kollektorwiderständen (10 Ohm bzw. 500 Ohm) eine Brückenschaltung, in deren Diagonalzweig das Anzeigeinstrument liegt. Dieses soll eine Empfindlichkeit von höchstens 1 mA, besser 100 μA haben. Da es nur als Stromindikator dient, kann man hier ein ungenaues, beschädigtes oder ungeeichtes Meßwerk verwenden.

Beide Transistoren werden mit dem gleichen Basisstrom „beaufschlagt“. Sind ihre Kennlinien gleich, so ist die Brücke im Gleichgewicht, und das Instrument zeigt nichts an. Bei abweichenden Kennlinien stellen sich abweichende Kollektorströme ein, die durch gegenläufige Änderung der Basisströme wieder auf gleichen Wert (Brückengleichgewicht) gebracht werden. Der Unterschied beider Basisströme ist dann ein Maß für die Differenz beider Kennlinien. Er kann an einem Regler in Prozent abgelesen werden, da es hierbei weniger auf die absoluten Stromwerte als vielmehr auf die Einhaltung eines bestimmten Höchstwerts der Differenz bei allen Basis- beziehungsweise Kollektorströmen ankommt. Auf die Feststellung der fließenden Stromstärken kann man daher verzichten.

Schalter S 1a bis d gestattet die Einstellung auf verschiedene Transistoren-Leistungsklassen: Kontakte S 1a, b, c, d offen: für Transistoren bis 150 mW; Kontakte S 1 a, b, c, d geschlossen: 1- bis 4-W-Transistoren. Regler P 3 dient nur zum Schutz des Instruments, falls größere Differenzen auftreten. Er wird jeweils so eingestellt, daß man die Stromlosigkeit des Brücken-Nullzweigs möglichst genau erkennen kann. S 3 ist der Einschalter des Gerätes, das zweckmäßig aus 6 Monozellen oder ähnlichen kräftigen Batterien betrieben wird, da es bis zu 2 A Strom aufnehmen kann. Mit P 1 wird die gesamte Kennlinie der Transistoren „durchfahren“, wobei P 1 zu Prüfbeginn in Stellung „0“ steht (siehe Bild 7). Um eine Anpassung an eventuelle höhere

Stromverstärkungen der Prüflinge zu haben, die den Regelbereich von P 1 zu sehr einengen würden, kann diesem Regler mit S 2 (normalerweise geschlossen) ein Widerstand 1 kOhm vorgeschaltet werden, so daß an P 1 dann nur $^1/_{10}$ Batteriespannung steht. Der den Prüflingen „aufgeprägte" Basisstrom wird — je nach der von P 1 abgegriffenen Spannung — durch die Basisvorwiderstände bestimmt. Jeweils eine Hälfte des Potentiometers P 2b (bzw. für stärkere Transistoren P 2a) zusammen mit dem vorgeschalteten Festwiderstand bildet die Basisvorwiderstände. In Mittelstellung des Reglers P 2 sind beide Basisströme gleich groß, und bei übereinstimmenden Daten von T 1 und T 2 erhalten wir auch gleich große Kollektorströme. Instrument I zeigt daher keinen Differenzstrom an. Weichen T 1 und T 2 voneinander ab, so kann das durch gegenläufige Verstellung von P 2 ausgeglichen werden, bis die Brücke wieder stromlos ist. Der Betrag der Mittenabweichung des Reglers P 2 gibt dann das Maß für die Differenz der Kennlinien in dem jeweils mit P 1 eingestellten Arbeitspunkt an. Die Schaltung ist dabei so dimensioniert, daß sie eine Überlastung der Transistoren — wenn man S 1a bis d entsprechend der Leistungsklasse richtig einstellt — ausschließt, P 1 kann also über den ganzen Bereich durchgedreht werden. Bei großen Stromverstärkungsfaktoren wird dann S 2 zum genaueren Vergleich der unteren Kenniliniengebiete geöffnet.

Indem wir mit P 1 die Kennlinie langsam von 0 beginnend „durchfahren" und gleichzeitig mit P 2 ständig die Brücke auf Stromlosigkeit (kein Ausschlag am Instrument) ausgleichen, werden die beiden übereinstimmenden Transistoren ausgewählt. Je weniger dabei P 2 aus der Mittelstellung entfernt ist, um so besser passen beide Transistoren zusammen. Die Mittelstellung von P 2 entspricht einem Verhältnis 1 : 1 (0 % Differenz), die Endstellung rechts oder links bei P 2 einem Verhältnis 1 : 3. Das für übliche Pärchen-

Forderungen entsprechend den Datenblättern zulässige maximale Verhältnis darf 1 : 1,2 betragen, P 2 darf also nicht allzuweit aus der Mittellage kommen. Die fließenden Ströme oder Arbeitspunkte lassen sich hier nicht zahlenmäßig erfassen. P 1 wird neutral von „0 bis 1“ geeicht, P 2 bekommt zweckmäßig in Skalenmitte den Nullpunkt, die Endpunkte lauten dann „+3“ und „–3“, die dazwischenliegende Eichung verläuft nahezu linear und kann daher mit Zirkel und Winkelmesser aufgetragen werden. Die Punkte „+1,2“ und „–1,2“ markieren wir zweckmäßig als Grenzwerte. P 3 wird ebenfalls neutral mit „0“ und „1“ ohne Zwischenskala, S 2 mit „β groß“ (Stellung „Aus“) und „β klein“ (Stellung „Ein“), S 1, ein 4poliger Einschalter oder auch 2 nebeneinandergesetzte und gekoppelte 2polige Kippschalter, mit „150 mW“ (offen) und „1 bis 4 W“ (geschlossen) beschriftet. Regler P 2 kann man entweder als Tandemregler selbst bauen (2 axial hintereinandergesetzte Regler mit abgewinkelter Fahrradspeiche koppeln), oder es werden beide Regler getrennt montiert und getrennt geeicht. Je nach Stellung von S 1 wird dann der zugehörige Regler bedient. Betrieblich günstiger ist die Tandemausführung, die wir leicht selbst bauen können. Beide Regler müssen lineare Kennlinie haben, drahtgewickelte Regler sind vorzuziehen. Die Nullstellung von P 2a und P 2b ergibt sich, indem wir ohne Transistoren bei T 1 und T 2 Basis- und Kollektoranschluß miteinander verbinden und P 1 auf „0“ stellen. Bei offenem S 1 wird jetzt P 2b auf Stromlosigkeit am Instrument gestellt, danach bei geschlossenem S 1 P 2a ebenso, ohne dabei P 2b zu verändern. In den gefundenen Stellungen werden die Regler gekoppelt, und der entsprechende Skalenpunkt wird mit „0“ geeicht. Der Anschluß der Prüflinge bei T 1 und T 2 kann mit Krokodilklemmen oder ähnlichem erfolgen. Man beachte, daß beide Prüflinge während der Messung gleiche Temperatur haben (nicht mit den Fingern berühren, sonst Erwärmung). Erhal-

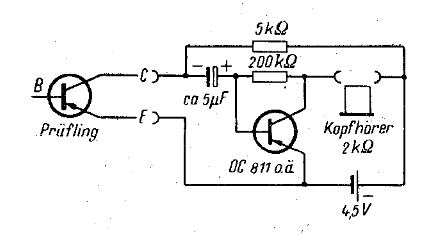
ten wir mit P 2 keinen Nullabgleich, so ist die Differenz beider Prüflinge größer als 1 : 3 und eine Paarung nicht möglich.

5. Rauschfaktor-Tester

Für Anfangsstufen rauscharmer NF-Verstärker sind oft ausgesuchte rauscharme Transistoren erforderlich. Das Eigenrauschen können wir am einfachsten nach der Schaltung in Bild 1 kontrollieren, wenn dort anstelle des 1-kOhm-Widerstands ein empfindlicher hochohmiger Kopfhörer tritt. Der Transistor wird dann mit dem Kollektor an den Minuspol und mit dem Emitter an den Pluspol dieser Schaltung angeschlossen. Die Basis bleibt frei. Es wird also der Kollektor-Reststrom abgehört, um das Rauschen von Transistoren innerhalb der eigenen Amateurpraxis unter definierten Verhältnissen zu vergleichen. Bei dem unter A. 3. beschriebenen Transistor-Prüfgerät war ebenfalls eine Möglichkeit vorgesehen, durch die das Rauschen (in Stellung VII bei beliebig einstellbarem Kollektorstrom) abgehört werden konnte. Jedoch genügen beide Verfahren nicht, um geringere Eigenrauschfaktoren noch feststellen zu können. — Ein „vorschriftsmäßiges" Messen des Rauschfaktors geht ebenso wie die Grenzfrequenz-Messung über die Möglichkeiten des Amateurs hinaus. Erfahrungsgemäß reicht aber für Amateurzwecke die Kontrolle des Eigenrauschens im Reststromgebiet aus, wenn durch entsprechende Verstärkung dafür gesorgt ist, daß auch geringes Rauschen noch ausreichend hörbar wird.

Bild 8 zeigt die Schaltung eines einfachen Rauschfaktor-Testers, der für die Praxis völlig zureichende relative Vergleiche zwischen verschiedenen vorhandenen Transistoren zuläßt. Den Prüfling schließt man mit Kollektor und Emitter an, die Basis bleibt frei. Der im Kollektor-Reststrom enthaltene Rauschanteil wird vom 5-kOhm-Kollektorwiderstand des Prüflings über einen

Bild 8
Einfacher Rauschfaktor-Tester



Klein-Elko abgegriffen und einem sehr einfach gehaltenen NF-Verstärker mit einem Transistor zugeführt, in dessen Kollektor ein empfindlicher hochohmiger Kopfhörer (übliche 4-kOhm-Funkkopfhörer-Ausführung) liegt. Eine 2stufige Verstärkung ist nicht erforderlich, wenn der verwendete Verstärkertransistor nicht gar zu geringe Stromverstärkung (wenigstens 30 bis 35, je höher, desto besser) hat. Einen Ausschalter benötigen wir nicht, da alle Stromkreise unterbrochen sind, sobald der Prüfling und der Kopfhörer abgenommen werden. (Der Elko bleibt unter Spannung, was sich aber auf seine Lebensdauer nur vorteilhaft auswirkt.) Als Batterie ist jede beliebige Ausführung mit 3 bis 4,5 V geeignet. Natürlich darf der verwendete Verstärkertransistor nicht schon selbst ein hohes Eigenrauschen haben, man wird hier also unter Umständen einige Exemplare durchprobieren müssen. Wenn kein Prüfling angeschlossen ist, darf im Kopfhörer auch bei genauem Hinhören nicht andeutungsweise ein Rauschen hörbar sein. Bei hinreichend empfindlichem Kopfhörer (Kleinhörer eignen sich hierfür nicht) kann das Rauschen eines angeschlossenen Prüflings bereits ganz schwach hörbar sein, wenn dieser datenblattmäßig einen Rauschfaktor um etwa 5 dB aufweist. Direkte Rückschlüsse auf den zahlenmäßigen Wert des Rauschfaktors sind mit diesem Gerät natürlich nicht möglich, aber für die Amateurpraxis auch nicht erforderlich.

B. Meßgeräte mit Transistoren

1. Geräte zum Messen von Spannung, Strom, Widerstand, Kapazität

1.1. Widerstands- und Kondensatormessungen

1.1.1. Einfache Transistor-Widerstands-Meßbrücke

Unbekannte Widerstände werden hier nach dem aus dem Physikunterricht bekannten Grundprinzip der Wheatstoneschen Brücke gemessen. Auf das Prinzip wird daher nicht näher eingegangen.
Die Nullanzeige (Stromlosigkeit des Brücken-Querzweigs) erfordert einen sehr empfindlichen Stromindikator. Ein Mikroamperemeter lohnt dafür jedoch nicht, selbst wenn es vorhanden ist. Es liegt daher nahe, den anzuzeigenden Strom durch einen Transistor zu verstärken. Als Indikator genügt dann ein normales Milliamperemeter, an dessen Stelle eventuell wieder der über lose Leitungen angeschlossene Vielfachmesser treten kann. Bild 9 zeigt die Schaltung.
Um eine unkomplizierte, wenig Aufwand erfordernde Schaltung zu erhalten, sind hier 2 getrennte Batterien erforderlich, wofür sich Flachbatterien am besten eignen (B 1 liefert die Brücken-Meßspannung, B 2 die Hilfsspannung für den Transistor).

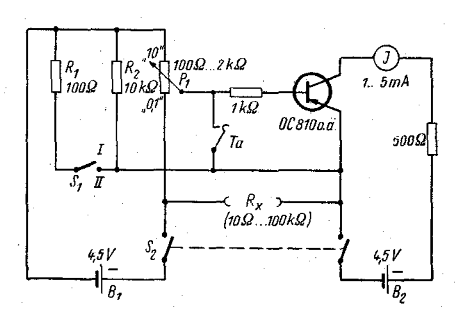


Bild 9 Einfache Widerstands-Meßbrücke mit Anzeigeverstärker

R 1 und R 2 sind die Vergleichswiderstände (Normalien), die genaue Werte haben müssen (1 % Toleranz). Da R 1 im Wert um 2 Größenordnungen niedriger liegt als R 2, ist eine Umschaltung nicht erforderlich, sondern es genügt, den Widerstand R 1 bedarfsweise mit einem einfachen Kippschalter parallel zu R 2 zu schalten. R 1 oder R 2 bilden mit dem unbekannten Widerstand, der bei Rx angeschlossen wird, einen Brückenzweig. Das geeichte Potentiometer P 1 — ein hochwertiger Drahtwiderstand mit genau linearem Verlauf, dessen absoluter Wert innerhalb der Grenzen von 100 Ohm bis 2 kOhm nebensächlich ist — bildet den anderen Brükkenzweig. In der Brückendiagonale (Nullzweig) liegt über einen 1-kOhm-Schutzwiderstand die Basis-Emitter-Strecke des Transistors. Mit dieser Anordnung sind unbekannte Widerstände von 10 Ohm bis 100 kOhm meßbar. Gemessen wird wie folgt: Nachdem Rx angeschlossen ist, wird S 2 eingeschaltet und zunächst die Eichtaste Ta gedrückt. Den jetzt angezeigten Instrumentenausschlag merkt man sich und stellt, indem Ta geöffnet wird, mit P 1 das Instrument auf den gleichen Ausschlag ein (also nicht auf Null). Der absolute Stromwert interessiert dabei nicht. Bedarfsweise wird dabei je nach Größe von Rx Schalter S 1 geöffnet oder geschlossen. An P 1 kann dann der Wert für Rx abgelesen werden. P 1 ist neutral von „0,1 ··· 1 ··· 10“ geeicht, dabei liegen der Punkt 0,1 (vgl. Anschluß von P 1 in Bild 9) links kurz vor dem Endanschlag des Reglers, Punkt 1 in Reglermitte, Punkt 10 kurz vor dem rechten Endanschlag. S 1 schaltet den Meßbereich: Stellung I — 1 kOhm bis 100 kOhm. Stellung II — 10 Ohm bis 1 000 Ohm. Je nach Schalterstellung wird der jeweils wirksame Widerstand (100 Ohm oder 10 kOhm) mit dem an P 1 abgelesenen Faktor multipliziert und ergibt den Wert für Rx. Beispiel: Die Brücke ist abgeglichen (keine Änderung des Instrumentenausschlags beim Drücken und Loslassen von Ta), wobei P 1 in Stellung „0,7“ seiner Skala zu stehen kommt und S 1 in Stel-

lung II steht. Wir rechnen: 100 Ohm · 0,7 = 70 Ohm. Rx beträgt 70 Ohm. Wie eben erwähnt, darf – wenn P 1 richtig steht – das Drücken der Kontrolltaste Ta keine Ausschlagsänderung mehr bewirken. Dieses Kontrollverfahren erübrigt besondere Temperaturkompensationen oder die Berücksichtigung der Transistoreigenschaften. An den Transistor werden also keine besonderen Anforderungen gestellt, lediglich sein Stromverstärkungsfaktor soll nicht gar zu niedrig sein. Für derartige Messungen eignen sich gut Transistoren, die zum Beispiel wegen zu starken Rauschens nicht mehr für Verstärkerzwecke brauchbar sind.

Die erste Eichung der Skala von P 1 nehmen wir vor, indem bei Rx die bekannten Widerstände angeschlossen werden. Zunächst legen wir mit Widerständen von genau 10 Ohm und genau 1 kOhm im Bereich II (S 1 schließen) die Skalenendpunkte „0,1" beziehungsweise „10" fest, danach mit einem Widerstand von genau 100 Ohm den Skalenmitte-Punkt „1". Letzteren überprüfen wir im Bereich I (S 1 aus) mit einem genauen 10-kOhm-Widerstand. Die Zwischenpunkte nehmen wir ebenso durch Ausmessen bekannter Widerstände verschiedener Werte auf. Durch geschicktes Kombinieren der vorhandenen Widerstände entsteht so mit einem Dutzend verschiedener Werte bereits eine recht dicht geeichte Skala, deren „Lücken" wir durch Interpolieren mit dem Zirkel ausfüllen können. Über größere Lücken gelingt das jedoch schlecht, weil die Skala nicht linear verläuft.

Die Anordnung bauen wir mit den Batterien in ein kleines Kästchen ein. Als Instrument genügt übrigens ein ungenaues oder leicht beschädigtes Milliamperemeter, da genaue Stromwerte nicht gefordert werden. Etwaige Batteriealterungen haben – solange die Batteriespannung noch für eine deutliche Anzeige ausreicht – keinen Einfluß auf die Eichung, hierin liegt der Vorteil der Wheatstoneschen Brückenschaltung. P 1 erhält einen Zeigerknopf mit großer Skala; als Potentiometer

kommen aber nur erstklassige, einwandfreie Ausführungen in Frage. Schichtpotentiometer scheiden in jedem Falle aus. Der Aufbau ist völlig unkritisch.

1.1.2. Wechselspannungs-Meßbrücke für Widerstände und Kondensatoren

Um höhere Widerstände zu messen, reicht die im vorigen Abschnitt beschriebene Meßbrücke nicht mehr aus, da der Strom im Nullzweig zu klein wird; sie können mit einfachen Anordnungen nicht nachgewiesen werden. Auch die Messung unbekannter Kondensatoren ist damit nicht möglich, weil die Brücke mit Gleichstrom arbeitet.
Eine leistungsfähigere Meßbrücke nach dem Prinzip der Wheatstoneschen Brücke zeigt Bild 10. Die Brükkenschaltung wird hier mit Wechselspannung gespeist, so daß auch Kondensatoren gemessen werden können. Außerdem tritt die Anzeigespannung im Nullzweig jetzt ebenfalls als Wechselspannung auf, sie kann daher mit einem normalen NF-Verstärker leichter und um einen größeren Betrag verstärkt werden, als das mit einem Gleichspannungsverstärker zu erreichen wäre.

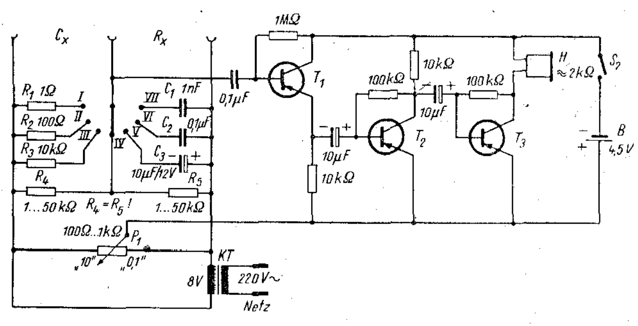


Bild 10 R-C-Meßbrücke mit Kopfhörer als Indikator. Die Brückenspannung wird dem Netz entnommen. Siehe Text

Das ermöglicht den empfindlicheren Nullabgleich und damit die Messung hochohmiger Objekte.

Auf einen Unterschied gegenüber der im vorigen Abschnitt gezeigten Brücke wurde soeben hingewiesen: Der Widerstand wird jetzt mit Wechselstrom gemessen. Das ist von praktischer Bedeutung, wenn der Widerstand von Drossel- oder Relaiswicklungen, Trafowicklungen und anderen Induktivitäten gemessen werden soll. Deren Wechselstromwiderstand setzt sich bekanntlich aus 2 Komponenten zusammen, die vektoriell addiert werden müssen. Wegen der Phasenverschiebung, die durch diese Glieder auftritt, ergibt sich mit üblichen Wheatstoneschen Brücken kein eindeutiges Minimum. Deshalb können induktivitätsbehaftete Widerstände (praktisch heißt das: von Wicklungen aller Art) nur mit der Gleichstrombrücke beziehungsweise mit einem normalen Ohmmeter gemessen werden, die im vorigen Abschnitt beschrieben wurden; also nicht mit den einfachen Wechselstrombrücken. Die Messung des Scheinwiderstands oder auch der Induktivität ist mit den hier beschriebenen Brücken ebenfalls nicht möglich. Auf sie wird im Rahmen dieses Büchleins verzichtet, da hierfür geeignete Meßbrücken relativ kompliziert und aufwendig sind (eine derartige Meßbrücke wird z. B. in Heft 18 dieser Reihe, „Meßplatz des Amateurs“ vorgestellt). Die im folgenden beschriebenen Meßbrücken sind daher zur Messung von Wicklungen aller Art nicht geeignet. Ebenfalls kann mit der unter Abschnitt 1.1.1. beschriebenen Brücke nur deren Gleichstromwiderstand gemessen werden. Erfahrungsgemäß beachtet besonders der Anfänger nicht immer diesen Umstand.

Die Meßbrücke nach Bild 10 erlaubt die Messung unbekannter Widerstände von 0,1 Ohm bis 100 kOhm in 3 Bereichen (ein vierter Bereich 100 kOhm bis 10 MOhm kann hinzugefügt werden) sowie die Messung von Kondensatoren von 100 pF bis 100 μF in 3 Bereichen. Auch hier besteht die Möglichkeit, bei sorgfältigem

Aufbau einen vierten Bereich hinzuzufügen und die C-Messung von 10 pF bis 1000 μF zu erweitern.

S 1 ist der Meßbereichsschalter. Stellung I ergibt den Meßbereich 0,1 bis 10 Ohm, II: 10 bis 1000 Ohm, III: 1 kOhm bis 100 kOhm. Eine vierte Stellung mit einem Widerstandsnormal von 1 MOhm würde einen Meßbereich von 100 kOhm bis 10 MOhm ergeben. Hierzu muß noch Näheres gesagt werden. Stellung IV wird mit „Eichen 1" beschriftet und anschließend erläutert. Stellung V: Kondensatoren 1 bis 100 μF, VI: 10 nF bis 1 μF, VII: 100 pF bis 10 nF. Unbekannte Widerstände werden bei Rx angeschlossen, unbekannte Kondensatoren bei Cx. Auch hier ist P 1 (vgl. dazu den vorigen Abschnitt) wieder mit „0,1 ... 1 ... 10" beschriftet, die unter 1.1.1. genannten Hinweise für diesen Bauteil gelten auch hier. Falls ein vierter Kondensator-Meßbereich zugefügt wird, empfiehlt sich die Staffelung der Normal-Kondensatoren C 1 bis 3 und des neu hinzukommenden wie folgt: C 1 = 100 pF (Bereich 10 pF bis 1 nF), C 2 = 10 nF (1 nF bis 0,1 μF), C 3 = 1 μF (Rollkondensator, kein Elko, Bereich 0,1 μF bis 10 μF) und zusätzlicher Kondensator 100 μF/12 V (Bereich 10 μF bis 1 000 μF). Der Schalter S 1 muß dann 8 und, falls auch ein vierter R-Meßbereich hinzutritt, 9 Stellungen haben.

Die Zusatzbereiche sind jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden, weshalb man besonders dem Anfänger zunächst davon abraten muß. Ein Meßbereich 100 kOhm bis 10 MOhm ist bereits derart hochohmig, daß der Eingang des Nullanzeigeverstärkers eine große Belastung für den Nullzweig darstellt, wodurch das Brumminimum schwach und wenig ausgeprägt wird, was die Meßgenauigkeit verringert. Gleichzeitig wachsen die Einflüsse der Verdrahtungskapazitäten, die das Minimum weiter verschlechtern. Das gleiche gilt in noch stärkerem Maße für einen Meßbereich 10 bis 100 pF, der angesichts der relativ niedrigen Meßfrequenz (50 Hz) ebenfalls außerordentlich hochohmig ist. Hier treten

außerdem sehr leicht zusätzliche Meßfehler durch Verdrahtungskapazitäten auf. Bereits die Zuleitungen zu den Cx-Anschlüssen haben einige pF Kapazität zueinander, dieser Betrag geht in das Meßergebnis für Cx ein. Voraussetzung muß also ein außerordentlich kurz verdrahteter, sehr kapazitätsarmer und brückensymmetrischer Aufbau sein. In den Bereichen über 100 pF beziehungsweise unter 100 kOhm sind diese Verhältnisse weitaus unkritischer und dann auch vom weniger erfahrenen Amateur zu meistern.

Die Stellung IV „Eichen 1" des Bereichsschalters S 1 schaltet die Widerstände R 4 und R 5 an die Brücke. Ihr absoluter Wert kann je nach dem gerade greifbaren Material zwischen 1 bis 50 kOhm liegen, jedoch müssen beide genau die gleiche Größe (1 % maximale Toleranz) haben. Wenn die Brücke in Stellung IV abgeglichen wird, muß P 1 also genau in Stellung „1" zu stehen kommen. Dadurch ist jederzeit eine Kontrolle der Brückeneichung möglich, und es kann nicht vorkommen, daß durch unbemerktes späteres Verdrehen beispielsweise des Zeigers auf der Potentiometerachse oder der Skala Meßfehler entstehen. Wir können damit kontrollieren, ob die Brücke jederzeit exakt arbeitet.

Für die Eichung von P 1 gilt das unter 1.1.1. Gesagte. Auch hier hängt die Meßgenauigkeit außer von der Präzision des Reglers P 1 unmittelbar von der Genauigkeit der „Normalien" R 1 bis 5 und C 1 bis 3 ab, für die wir daher engtolerierte Teile (1 %) oder noch besser solche verwenden, die wir in einer Werkstatt mit einer guten Meßbrücke auf genauen Wert ausmessen lassen. Während für die Widerstände Präzisions-Meßwiderstände im Handel erhältlich sind, wird bei den Kondensatoren das Ausmessen auf den tatsächlichen Wert und eventuelle Kombination mehrerer Kondensatoren bis zum genauen Sollwert notwendig sein. Es ist aber zu bedenken, daß der einmalige hohe Aufwand unser „Normal" für die weitere Praxis er-

gibt und unsere späteren Meßaufgaben wesentlich erleichtert. Aus diesem Grunde lohnt sich die einmalige Beschaffung oder die Kombination genauer Teile durchaus.

Aus schaltungstechnischen Gründen sind für Brücke und Anzeigeverstärker getrennte Stromquellen erforderlich. Die Wechselspannung der Brücke wird einfach einem Klingeltransformator entnommen, was den Vorzug einer kurzschlußfesten Brückenspannung hat (Klingeltransformatoren werden so ausgelegt, daß sie ohne besondere Absicherung bei maximaler Stromabgabe um 1 bis 1,5 A über längere Zeit kurzschlußfest sind). Das ist wichtig, weil im untersten Meßbereich I die Brückenspannungsquelle mit nur rund 1 Ohm belastet wird. Das würde – falls die Brückenspannung dabei nicht automatisch zurückginge (Strombegrenzungseffekt des Klingeltrafos!) – zur sofortigen Zerstörung von R 1 und Rx führen, beziehungsweise müßte R 1 für eine Belastbarkeit von rund 65 W ausgelegt sein! Immerhin wird man R 1 trotz der Strombegrenzung für wenigstens 3 W Belastbarkeit (Drahtwiderstand) auslegen. Falls man jedoch einen anderen Trafo (Heiztrafo o. ä.) benutzt, ist in eine der vom Trafo zur Brücke führenden Leitungen unbedingt ein Widerstand von etwa 10 Ohm/10 W zu legen.

Der Anzeigeverstärker wird aus einer Taschenlampenbatterie versorgt und mit S 2 eingeschaltet. Legt man S 2 als doppelpoligen Schalter aus, so kann damit auch die Netzleitung des Trafos abgeschaltet werden. Falls wir einen Trafo mit 2 galvanisch getrennten Wicklungen benutzen (Brückenspannung 6 bis 8 V, Verstärkerspannung 4 bis 6 V), kann die Spannung der zweiten Wicklung über einen kleinen Selengleichrichter gleichgerichtet werden und mit großen Elkos gut gesiebt den Verstärker speisen. So läßt sich die Batterie einsparen, was jedoch angesichts des Mehraufwands und der langen Lebensdauer der Batterie (etwa 1 Jahr!) kaum Vorteile bringt. Der Verstärker ist mit 3 Tran-

sistoren aufgebaut, als Nullindikator dient ein Kopfhörer, Kleinhörer oder ähnliches mit einer Impedanz von 1 bis 4 kOhm. Für T 1 bis 3 sind alle üblichen Typen der Reihe OC 811 ··· 813, 825 ··· 829, 870 ··· 872 beziehungsweise die entsprechenden Bastlertypen mit nicht zu geringer Stromverstärkung (letzteres besonders wichtig für T 1) brauchbar. T 1 arbeitet in Kollektorschaltung, die sich durch hohen Eingangswiderstand auszeichnet. Dadurch wird der Brücken-Nullzweig wenig belastet und die Anwendung höherer Meßbereiche überhaupt erst möglich. T 2 und T 3 sind normal geschaltet und — da es hier nicht auf besondere Übertragungsgüte ankommt — sehr einfach gehalten. Die Brücke gleichen wir demzufolge mit P 1 auf Brumminimum im Hörer ab. Theoretisch wäre der Netzbrummton bei Brückennull ganz verschwunden, praktisch erreicht er wegen der vorhandenen unvermeidlichen Streukapazitäten nur ein Lautstärkenminimum, das jedoch besonders in den mittleren Bereichen sehr scharf ausgeprägt ist und damit große Meßgenauigkeit erlaubt. P 1 soll deshalb langsam durchgedreht werden, um die Minimumstelle nicht zu überhören. Das Ablesen erfolgt wieder — wie unter 1.1.1. erläutert — durch Multiplizieren des an P 1 abgelesenen Faktors mit dem bei S 1 eingestellten R- oder C-Wert. P 1 wird also nicht etwa in Ohm oder μF geeicht!

1.1.3. Netzunabhängige Meßbrücke für Widerstände und Kondensatoren

Die unter 1.1.2. beschriebene Meßbrücke eignet sich besonders für den Werkstatteinsatz. Störend für die Arbeit „unterwegs“ ist jedoch ihre Netzabhängigkeit. Es liegt daher nahe, auch die erforderliche Wechselspannung mittels Transistorsummer aus einer Batterie zu gewinnen. Bild 11 zeigt eine solche Schaltung. Sie erlaubt es außerdem, mit einer einzigen Batterie auszukommen, wobei anstelle der angegebenen 9 V Be-

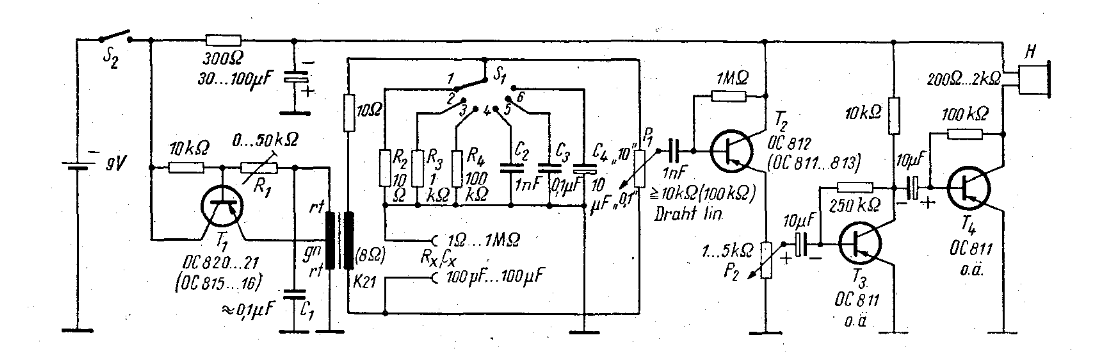


Bild 11 Netzunabhängige R-C-Meßbrücke mit Hörer als Indikator. Die Brückenspannung wird durch Transistorsummer erzeugt. Der bei P 1 angegebene Skalenverlauf 0,1 bis 10 gilt für R-Messung. Für C-Messung verläuft die Skala spiegelbildlich (Punkt 10 unten, 0,1 oben), P 1 bekommt daher 2 getrennt aufzunehmende Skalen. Die Brücke ab Sekundärseite des K 21 bis zum Basiskondensator des ersten Verstärkertransistors kann jedoch auch nach Bild 10 geschaltet werden, dann stimmen R- und C-Skala an P 1 überein, und das Tonminimum wird besser erkennbar. Das Meßobjekt darf dann jedoch keine Masseverbindung haben. Die Werte für P 1 und R 2 bis 4, C 2 bis 4 sowie der Vorwiderstand 10 Ohm vor der Sekundärwicklung des K 21 werden bei dieser Schaltungsänderung (wie im Bild angegeben) beibehalten

triebsspannung eventuell schon eine 4,5-V-Batterie ausreichen kann.

Das Grundprinzip entspricht dem der Schaltung nach Bild 10. Zum Brückenteil ist daher an dieser Stelle nichts Näheres zu sagen, alles im vorigen Abschnitt Beschriebene gilt auch hier. Die Brücke ist insofern etwas anders geschaltet, als für Rx und Cx die gleichen Anschlußklemmen in Frage kommen und der Prüfling einpolig an Masse der Brücke liegt. Das wirkt sich im vorliegenden Fall günstiger aus. S 1 ist wiederum der Bereichsschalter, P 1 der Abgleichregler, der hier wenigstens 10 kOhm, besser 100 kOhm haben soll. Der Anzeigeverstärker entspricht dem, der auf Bild 10 gezeigt wird, jedoch wurde zusätzlich eine Empfindlichkeitsregelung mit P 2 (Lautstärkeregelung) vorgesehen. Die hier benutzte Wechselspannung ist nämlich nicht sinusförmig, sondern hat — bedingt durch die relativ einfache Erzeugung mit einem stark rückgekoppelten Oszillator — annähernd Sägezahnform, das heißt einen hohen Oberwellenanteil. Das Tonminimum erkennt man daran, daß vor allem der Grundton ein ausgeprägtes Minimum ergibt, während die Oberwellen — bedingt durch sekundäre Einflüsse — weniger stark gedämpft werden. Bei insgesamt zu lautem Ton kann man das Minimum leicht überhören, weshalb wir nicht ohne den Empfindlichkeitsregler P 2 auskommen. Man dreht P 2 dann gerade so weit auf, daß der Ton gut hörbar ist. Erst wenn sich ein Minimum ergibt, kann P 2 zur genaueren Einstellung noch weiter aufgedreht werden.

Die Brücken-Wechselspannung erzeugt eine Rückkopplungsschaltung vom Transistor T 1 (OC 820, 821 o. ä. 150-mW-Typ). Um mit handelsüblichen Normteilen auszukommen und dieses als Taschengerät gedachte R-C-Meßgerät möglichst klein zu halten, wurde als Übertrager der „Sternchen“-Ausgangsübertrager Typ K 21 vom Funkwerk Leipzig benutzt, der sich hierfür gut eignet. Er wird wie auf Bild 11 angeschlossen.

Die „Lautsprecheranschlüsse“ liefern dann die Brückenspannung. Diese Spannung wird der Brücke über einen 10-Ohm-Vorwiderstand zugeführt, um ein Aussetzen des Generators bei niederohmigen Meßobjekten zu vermeiden. Widerstand R 1 muß je nach Transistorexemplar ausprobiert werden. Man bemißt ihn so, daß der Summer bei kurzgeschlossenem Potentiometer P 1 (der Übertrager ist dann also direkt mit dem 10-Ohm-Vorwiderstand sekundär belastet) gerade sicher anschwingt, jedoch nicht kleiner als hierfür nötig. Danach erhält C 1 durch Versuch einen solchen Wert, daß sich ein möglichst reiner, „musikalischer“, sinusähnlicher Ton nicht zu hoher Frequenz (200 bis 400 Hz) ergibt. Der Kondensatorenwert für C 1 ist nicht sehr kritisch, kann aber von Fall zu Fall von dem in Bild 11 angegebenen Richtwert 0,1 μF ziemlich weit abweichen.
Beim Aufbau – in ein kleines Gehäuse, das in die Werkzeugtasche paßt – muß man darauf achten, daß insbesondere der Summer eng und mit etwas Abstand von Brückenteilen und vom Verstärker aufgebaut wird. Eine kapazitätsarme Verdrahtung der Brücke ist hier besonders wichtig. R 2 bis 4 und C 2 bis 4 werden unmittelbar an S 1 angelötet. Die Gehäusegröße ergibt sich durch die Skalengröße von P 1 – eine gewisse Mindestgröße kann im Interesse genauer Ablesung nicht unterschritten werden – und den Platzbedarf der neben der P-1-Skala angeordneten S 1 und P 2. In dem so bemessenen Gehäuse bringen wir alle übrigen Teile einschließlich der Batterie bequem unter.
Eichung und Benutzung erfolgen, wie unter 1.1.1. und 1.1.2. beschrieben.

1.2. Strommessungen

1.2.1. Die Messung geringer Gleichströme mit dem Transistor-Mikroampere-Indikator

Nicht jeder Amateur ist im Besitz eines wertvollen Mikroamperemeters. Wir stehen aber oft vor der Aufgabe, geringe Ströme in der Größenordnung von

μA wenigstens annähernd genau zu messen. Es besteht die Möglichkeit, ein Milliamperemeter für etwa 1 bis 10 mA (die Verwendung des Vielfachmessers ist auch hier wieder möglich) durch Vorschalten eines Transistors empfindlicher zu machen. Leider hat dieser zunächst einfach erscheinende Weg einige schwerwiegende Nachteile.

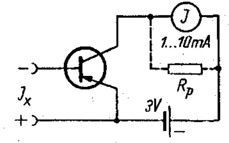


Bild 12
Der Mikroampere-Indikator — eine Schaltung zur Empfindlichkeitssteigerung von Strommessern, die aber mit einigen Nachteilen behaftet ist. Siehe Text

Bild 12 zeigt die Schaltung für diesen Mikroampere-Indikator. Der zu messende Strom wird bei Ix in der angegebenen Polarität zugeführt. Dabei ist zu beachten, daß Falschpolung die Emitter-Basis-Strecke des Transistors sperrt und je nach der im zu messenden Stromkreis vorhandenen Spannung der Transistor beschädigt werden kann (Durchschlag der Sperrschicht, wenn die Spannung im Meßkreis mehr als etwa 6 bis 10 V beträgt). Hier liegt bereits der erste Nachteil. Andererseits darf die Spannung im Meßstromkreis auch nicht zu gering sein, denn an der Basis-Emitter-Strecke fallen je nach Transistor etwa 0,1 bis 0,4 V Spannung ab. Diesen Spannungsverlust muß die zu messende Schaltung vertragen, ohne zu Meßfehlern zu führen. Diese Voraussetzung ist jedoch meist erfüllt. Bekanntlich hat jeder Transistor einen Kollektor-Reststrom bei offener Basis, der schon eine Anzeige am Instrument bewirkt, wenn die Ix-Klemmen noch offen sind. Grundsätzlich könnte der Reststrom — den im wesentlichen der ausgewählte Transistor bestimmt —, wenn er nicht zu hoch ist, mit der Nullpunkt-Korrekturschraube am Meßinstrument „kompensiert" werden. Leider hat das aus zwei Gründen wenig Sinn: Erstens hängt der Reststrom von der Temperatur ab. Man achte also darauf, daß sich der Transistor während der Messung nicht erwärmt (nicht anfassen!). Zweitens

aber ist er abhängig von dem zwischen Basis und Emitter vorhandenen Widerstand. Je kleiner der Widerstand zwischen Basis und Emitter, um so geringer der Reststrom. Dieser wird hier aber vom „inneren Widerstand" des an Ix angeschlossenen Meßkreises gebildet, und der hat leider je nach Meßaufgabe ganz verschiedene Werte. Beispiel: einige 10 MOhm bei Messung des Gitteranlaufstroms einer Verstärkerröhre, einige mOhm bei Messung des Stromes eines Thermoelements, oftmals nicht einmal linear (Fotoelement-Stromabgabe!) und meist nicht bekannt. Der im Moment des Anschlusses des Meßkreises tatsächlich vorhandene Reststrom ist daher weder bekannt noch vorher festzustellen und fast nie mit dem bei offenen Ix-Klemmen gemessenen Reststrom identisch. Auf die zuvor genannten ernsten Mängel mußte aufmerksam gemacht werden, weil man sie bei dieser in letzter Zeit häufig propagierten Methode meist übersieht, der Amateur aber die Fehlerquellen kennen muß, um sie ausschalten zu können. Im vorliegenden Falle ist das nur auf folgendem Wege möglich: Der Reststrom des Transistors muß von vornherein so klein wie möglich sein. Wir werden also einen Transistor auswählen, der bereits bei offenen Ix-Klemmen einen ganz minimalen Reststrom zeigt. Dieser Eigenschaft gibt man bei der Auswahl eines geeigneten Transistors aus dem vorhandenen Vorrat (oder mittels Transistorprüfer in der Verkaufsstelle) sogar vor der nur scheinbar wichtigeren Stromverstärkung den Vorzug. Es ist natürlich günstig, wenn die Stromverstärkung so hoch wie möglich liegt, denn die Empfindlichkeit der Anordnung wächst um den Faktor der Stromverstärkung. Der bei Ix tatsächlich fließende Strom errechnet sich nach dem Quotienten Meßwerkstrom geteilt durch Stromverstärkung:

$$Ix = \frac{I_{Instrument}}{\text{Stromverstärkung}}.$$

Mit einem Transistor der Stromverstärkung 50 würden wir zum Beispiel auf dem Instrument einen Strom von

1 mA ablesen. Der gemessene Strom Ix beträgt dann $^1/_{50}$ = 0,02 mA = 20 μA! Der geeignetste Transistor ist also derjenige mit geringstem Reststrom bei hoher Stromverstärkung. Brauchbare Exemplare befinden sich unter allen greifbaren Typen der Leistungsklasse bis 150 mW. Aus den genannten Gründen sei davon abgeraten, größere Restströme durch Verstellen der Nullpunktschraube am Instrument restlos zu eliminieren. Exakter wäre es dann schon, Ix kurzzuschließen oder besser mit einem dem Widerstand des beabsichtigten Meßkreises entsprechenden Widerstandswert abzuschließen und den verbleibenden Anzeigerest mit der Nullpunktschraube des Instruments zu kompensieren. – Die Stromverstärkung des Transistors muß natürlich genau bekannt sein. Hier hilft ein Trick: Wir speisen bei Ix einen kleinen Strom bekannter Größe (etwa 10 μA oder 100 μA) ein, der aus einer Batterie mit entsprechend bemessenem Vorwiderstand entnommen wird (für 10 μA z. B. ein 1,5-V-Element mit 150 kOhm Vorwiderstand). Aus dem bei I abgelesenen Wert können wir die Stromverstärkung nach der Formel $\frac{\text{Instrumentenstrom}}{\text{I}}$ sehr genau errechnen. Da meist ein „krummer“ Wert herauskommt, der die spätere Umrechnung erschwert, verringern wir durch einen nach Versuch geeignet bemessenen Parallelwiderstand zum Instrument (R_p in Bild 12) dessen Empfindlichkeit so weit, daß sich zwischen Anzeige und Ix-Wert ein glattes Verhältnis, je nach Skalenteilung etwa 1 : 10, 1 : 30 oder 1 : 50 ergibt.

1.2.2. Mikroampere-Indikator mit Reststrom-Kompensation

Nach dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Prinzip ist es möglich, eine Schaltung für die Kompensation des Transistor-Reststroms auf elektrischem Wege vorzusehen. Zwar gelten grundsätzlich alle behandelten

Einschränkungen des vorigen Abschnitts auch hier. Jedoch hat die beschriebene Schaltung bei geringeren Ansprüchen an die Meßgenauigkeit (oft genügt ja schon eine überschlägige Ermittlung der Stromstärke im Meßkreis) den Vorteil, daß sie in einem etwas größeren Temperaturbereich verwendbar ist, da der Kollektor-Reststrom des Transistors weitgehend kompensiert werden kann. Aus dem gleichen Grunde können Transistorexemplare mit nicht ausgesucht geringem Reststrom verwendet werden. Die Meßergebnisse sind natürlich nicht sehr genau und variieren um etwa 10 %.

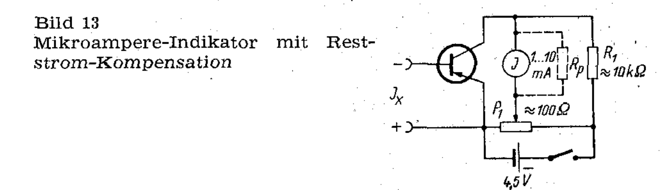


Bild 13
Mikroampere-Indikator mit Reststrom-Kompensation

Bild 13 zeigt die Schaltung. Das Grundprinzip ist nach dem unter 1.2.1. Gesagten verständlich. Der Reststrom wird kompensiert, indem man das Instrument in eine Brückenschaltung legt, wobei ein Zweig vom Transistor und der andere vom Widerstand R 1 gebildet wird. Wenn man für R 1 einen Heißleiter (etwa Typ HLS 10 k vom VEB Keramische Werke Hermsdorf o. ä.) einsetzt, kann eine weitgehende Sicherheit gegen Meßfehler durch schwankende Umgebungstemperatur auch bei länger dauernden Messungen erreicht werden. Mit P 1 wird jeweils vor Meßbeginn — möglichst bei schon angeschlossenem, aber noch stromlosem Meßstromkreis, soweit die Meßaufgabe das zuläßt — der Nullpunkt eingestellt. Die Empfindlichkeit der Anordnung ist gegenüber der in Bild 12 bei vergleichsweise gleichem Stromverstärkungsfaktor geringer. Sie wird am besten, wie unter 1.2.1. beschrieben, experimentell ermittelt. Auch hier empfiehlt es sich wieder, einen Widerstand parallel zum Instrument (R_p in Bild 13)

zu schalten, damit wir ein geradzahliges „glattes“ Verhältnis des Meßstroms zur Anzeige erhalten. Während die Batterie bei der Schaltung in Bild 12 wegen des ganz minimalen Ruhestromverbrauchs (falls das Instrument abgetrennt wird, sogar ganz abgeschaltet) eventuell fest eingelötet werden kann, muß sie hier (Bild 13) wegen des relativ hohen Stromverbrauchs der Brückenschaltung (über P 1) abschaltbar sein.

1.3. Transistor-Voltmeter

Zur exakten Messung von Spannungen an hochohmigen Quellen, etwa hinter Gitterwiderständen und so weiter, werden Voltmeter benötigt, die das Meßobjekt möglichst nicht zusätzlich belasten, das heißt einen geringen Eigenstromverbrauch beziehungsweise hohen Eingangswiderstand haben. Man benutzt in der Rundfunktechnik Röhrenvoltmeter, mit denen sich leicht Eingangswiderstände in der Größenordnung um 10 MOhm erreichen lassen. Es ist inzwischen allgemein bekannt, daß das Röhrenvoltmeter eines der wichtigsten Werkstattinstrumente überhaupt ist und auch für den Amateur keineswegs einen Luxusartikel darstellt. Leider hält der relativ große Aufwand für ein Röhrenvoltmeter viele Amateure noch davon ab, es selbst zu bauen. Außerdem gehen die Vorteile des Vielfachmessers (Handlichkeit, Netzunabhängigkeit) beim Röhrenvoltmeter weitgehend verloren. Es ist aber möglich, ein Transistor-Voltmeter aufzubauen, in dem die Vorzüge beider Geräte (Handlichkeit, hoher Eingangswiderstand, Netzunabhängigkeit) vereinigt sind.

Bild 14 zeigt die Schaltung eines solchen Transistor-Voltmeters, das allen Ansprüchen der Amateurpraxis vollauf genügt und dabei im Gesamtanschaffungspreis noch billiger wird als ein Vielfachmesser, den es natürlich nicht vollständig ersetzen kann. Strommessungen werden weiterhin Aufgabe des Vielfachmessers blei-

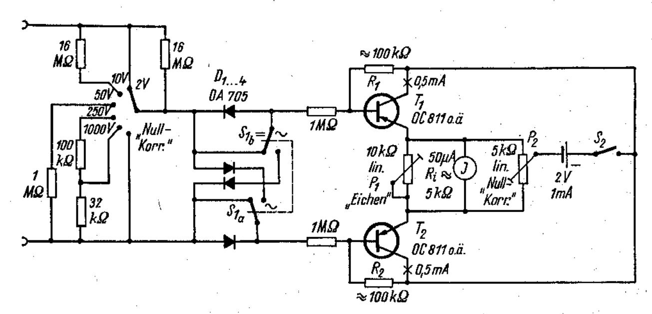


Bild 14 Schaltung des Transistor-Voltmeters. Dieses Gerät ist das Analogon zum Röhrenvolmeter. Siehe Text

ben, aber hierfür genügt jetzt unter Umständen schon ein einfacher Vielfach-Strommesser, den der Amateur selbst bauen kann.

Das in Bild 14 gezeigte Transistor-Voltmeter ist geeignet für die Messung von Gleich- und Wechselspannungen von 2 V bis 1000 V. Der Eingangswiderstand liegt für den 2-V-Bereich immerhin noch bei 2 MOhm (entspricht 1 MOhm/V), für den 10-V-Bereich dementsprechend bei 10 MOhm, für alle anderen Bereiche bei 16 MOhm. Die Spannungsbereiche und die Schaltung des Eingangsspannungsteilers wurden so ausgewählt, daß sich für alle Widerstände günstige oder leicht kombinierbare Normwerte ergeben. Andererseits kann auf schwer zu beschaffende Höchstohmwiderstände verzichtet werden. Alle Widerstände sollen jedoch im Interesse der Meßgenauigkeit eng toleriert oder auf genauen Wert ausgesucht sein. — Der zwischen Eingang und den Dioden liegende, im 2-V-Bereich überbrückte 16-MOhm-Widerstand soll aus 3 bis 4 Teilwiderständen (5 + 5 + 6 MOhm, besser noch 5 + 5 + 3 + 3 MOhm) je 0,5 W zusammengesetzt und gut isoliert werden, da im höchsten Meßbereich bis zu 1000 V anliegen. Für alle anderen Widerstände genügen 1/4-W-Typen.

Als Meßwerk wird ein Mikroamperemeter für 50 µA Vollausschlag benutzt, das möglichst einen Innen-

widerstand von 5 kOhm haben soll. Wesentlich höhere Innenwiderstände sind ungeeignet, niedrigere lassen sich durch Reihenschaltung eines Widerstandes mit dem Meßwerk auf 5 kOhm ergänzen. In Hinblick auf die Meßbereichsunterteilung soll das Meßwerk eine 50teilige Skala haben. Sie gilt unmittelbar nur für Gleichspannung. Für Wechselspannung ist wie bei üblichen Vielfachmessern direkt unter ihr noch eine zweite rote Skala zu zeichnen, die punktweise aufgenommen wird. Diese verläuft wegen der nichtlinearen Diodenkennlinien besonders im Skalenanfang (im ersten Fünftel der Skala) nicht linear. Der Vollausschlagspunkt des jeweiligen Bereichs liegt dabei etwas vor dem Skalenende. Man eicht das Gerät, indem eine von einem Netztrafo abgegriffene Wechselspannung von 12 V über ein Potentiometer stufenlos von 0 bis 12 V regelbar gemacht und dem 10-V-Eingang des Transistor-Voltmeters zugeführt wird. Parallel zu diesem liegt ein genaues Instrument zum Vergleich (Vielfachmesser o. ä.). Durch langsames Aufregeln des Potentiometers und Übertragung der vom Vergleichsinstrument abgelesenen Werte wird die Wechselspannungsskala dann punktweise angezeichnet. Man verzichtet dabei im ersten Fünftel oder Sechstel der Skala auf Eichung, da die Skala dort stark zusammenschrumpft und auch bei eventuell späteren Diodenalterungen nicht ganz konstant ist.

Das Transistor-Voltmeter arbeitet in einer 1stufigen Gegentakt-Kollektorschaltung, wodurch eine gute Stabilisation gegen Datenstreuungen der Transistoren und die erforderliche thermische Stabilisation erreicht werden. Die Transistoren bilden mit dem Potentiometer P 2, das gleichzeitig der Nullpunktkorrektur dient und für gelegentlichen Nachgleich mit Schraubenzieher von außen einstellbar sein soll, eine Brückenschaltung, die sich normalerweise im Gleichgewicht befindet. Die angelegte Meßspannung bringt die Brücke aus dem Gleichgewicht, das Instrument I zeigt daher einen span-

nungsproportionalen Differenzstrom an. Zur genauen Skaleneichung dient der als Shunt für das Instrument wirkende Regler P 1, den man einmal einstellt und später nicht mehr verändert. Diese Einstellung erfolgt, nachdem mit P 2 der Nullpunkt eingeregelt wurde, durch Anlegen einer Gleichspannung von genau 2 V an den Eingang des Transistor-Voltmeters (2-V-Gleichspannungsbereich). Danach regelt man mit P 1 genau auf Endausschlag des Instruments ein. Somit sind dann auch alle anderen Gleichspannungsbereiche abgestimmt. Erst danach kann die Wechselspannungseichung (Aufbringen der zweiten Skala) erfolgen. Um später den Nullpunkt einwandfrei nachjustieren zu können, wurde am Bereichsschalter die Stellung „Null-Korrektur" (Eingang kurzgeschlossen) vorgesehen. P 2 wird grundsätzlich nur in dieser Stellung des Eingangsschalters nachgestellt.

Von Gleich- auf Wechselspannung wird mit dem doppelpoligen Kippumschalter S 1 a, b umgeschaltet. Die Meßspannung wird mit 4 Germaniumdioden OA 705 gleichgerichtet. Legt man auf Wechselspannungsmessungen keinen Wert, so können die Dioden und S 1 entfallen, und die zweite Skala erübrigt sich. Der Frequenzbereich bei Wechselspannungsmessung reicht von wenigen Hz bis über 20 kHz, wenn wir beim Aufbau auf kapazitätsarme Verdrahtung, besonders des Eingangs achten.

Die Dioden müssen einen möglichst hohen Sperrwiderstand haben, ihr Sperrstrom, gemessen bei 4,5 V, soll etwa 3 bis 4 μA nicht überschreiten. Andere Typen als die OA 705 kommen deshalb kaum in Frage. Vor dem Einbau empfiehlt sich eine dementsprechende Kontrolle oder möglichst eine Vorauswahl der Dioden.

Auch an die Transistoren sind bestimmte Forderungen zu stellen, wenn die eingangs genannten Daten des fertigen Gerätes erreicht werden sollen. Die Transistoren sind möglichst gepaart zu verwenden, ihre Stromverstärkung muß über 50 liegen. Ihr Kollektor-

Reststrom darf 200 μA nicht überschreiten und bei beiden Exemplaren um höchstens 20 % differieren. Bei der ersten Inbetriebnahme werden die Kollektorströme mit den Basiswiderständen R 1 und R 2 auf je etwa 0,5 bis 0,7 mA eingestellt (Eingangsschalter dabei auf Stellung „Null-Korrektur"). Der Absolutwert der Kollektorströme ist dabei weniger wichtig, beide Ströme müssen jedoch unbedingt gleich sein. Stimmen beide Transistoren in ihren Kennlinien hinreichend überein, dann ergeben sich auch für R 1 und R 2 etwa gleiche Werte (100 kOhm sind lediglich Richtwert). Der Nullpunkt wird sich dann ziemlich genau in Mittelstellung von P 2 einstellen. Hiernach kann dann mit der bereits beschriebenen Eichung für Gleichspannung (mit P 1) und Wechselspannung (Skalenzeichnung) begonnen werden. Als Transistoren eignen sich alle handelsüblichen Typen der Leistungsklasse bis 150 mW, wenn sie die genannten Forderungen erfüllen.

Für die Stromversorgung wird ein kleiner 2-V-Trockenakku oder eine 3-V-Stabbatterie verwendet. Die Stromaufnahme beträgt nur etwa 1 bis 1,5 mA. S 2 schaltet das Voltmeter jeweils beim Gebrauch ein. Der Aufbau ist unter Beachtung der bereits gegebenen Hinweise unkritisch. Eine Gehäuseform ähnlich der des bekannten Vielfachmessers erweist sich als günstig. Der Eingangsschalter (Bereichsschalter) wird mit einer entsprechenden Skala versehen.

Für die Verwendung des Transistor-Voltmeters gelten die gleichen Gesichtspunkte wie für Röhrenvoltmeter. Der Vorteil des Transistor-Voltmeters im Gegensatz zum Röhrenvoltmeter besteht darin, daß es sofort nach Einschalten betriebsbereit ist. Da keine Erd- oder Netzverbindung existiert, können unsymmetrische Spannungen ebenso leicht wie symmetrische gemessen werden. Der von Röhrenvoltmetern her bekannte Umpolschalter entfällt, da durch Vertauschen der Meßleitungen umgepolt wird. Im übrigen ist es ohne weiteres möglich, ein Meßinstrument 50 . . . 0 . . . 50 μA mit Null-

punkt in Skalenmitte zu verwenden, so daß die Meßspannung beliebige Polarität haben und auch während der Messung in ihrer Polarität wechseln kann (z. B. beim Diskriminator-Abgleich im UKW-Empfänger). Falls diese Sonderausführung gewählt wird, empfiehlt es sich jedoch, die Kollektor-Ruheströme der Transistoren durch entsprechend verringerte Basiswiderstände R 1 und R 2 auf je 1 mA einzustellen. An die Kennliniengleichheit beider Transistoren werden in diesem Falle höhere Ansprüche gestellt. Sie ist ausreichend, wenn eine im 2-V-Bereich angelegte 2-V-Gleichspannung in beiden Polaritäten den gleichen Ausschlag (Endausschlag) nach rechts und links auf der Instrumentenskala bewirkt. Für die Messung von HF-Spannungen kann man dem Transistor-Voltmeter ebenso wie bei Röhrenvoltmetern einen Dioden-Tastkopf vorschalten, der in üblicher Ausführung aufgebaut ist und für den es in der Literatur viele Beispiele gibt (vgl. auch Heft 18 dieser Reihe). Das Voltmeter wird dann auf Gleichspannungsmessung geschaltet.

1.3.1. Transistor-Kompensations-Voltmeter für Batteriebetrieb

Für eine belastungsfreie Messung von Gleichspannungen gibt es neben den üblichen Verfahren (Vielfachmesser, Röhrenvoltmeter, Transistor-Voltmeter nach Abschnitt 1.3.) noch ein weiteres, weniger bekanntes Verfahren, das etwas ungewohnt zu handhaben ist. Es gestattet aber eine nahezu belastungslose Spannungsmessung selbst hochohmiger Quellen mit sehr genauen Meßergebnissen. Hierbei wird gegen die zu messende Spannung eine zweite Hilfsspannung mit gleicher Polarität angelegt, die sich in ihrer Höhe verändern läßt (Bild 17). Solange beide Spannungen verschieden sind, fließt zwischen beiden Spannungsquellen ein Ausgleichsstrom. Er wird gleich 0, sobald die zu

messende Spannung und die Hilfsspannung genau gleich groß sind. Der gleich Null gewordene Strom dient als Kriterium für die Spannungsgleichheit. Die der Meßspannung entgegengeschaltete Hilfsspannung hat nun gleiche Größe wie die Meßspannung, sie kann leicht bestimmt werden. Da in diesem Moment kein Ausgleichsstrom fließt, wird die Meßspannungsquelle (das Meßobjekt) tatsächlich nicht mit einem Strom belastet, so daß ihre Spannung nicht verfälscht werden kann. Dieses Prinzip gestattet, selbst höchstohmige Quellen sehr genau zu messen. Im vorliegenden Fall ist dabei noch von Vorteil, daß das Meßergebnis (entspricht der Größe der Hilfsspannung) an einem geeichten Regler abgelesen werden kann und daher das kostspielige, für den Amateur mitunter schwer beschaffbare Präzisionsmeßinstrument entfällt.

Bild 15 zeigt ein Kompensations-Voltmeter mit Batteriebetrieb. Der Name leitet sich vom Meßprinzip ab: Die zu messende Spannung wird durch eine Hilfsspannung bekannter Größe kompensiert. Mit dem Gerät nach Bild 15 sind Spannungen von 0 bis 66 V meßbar,

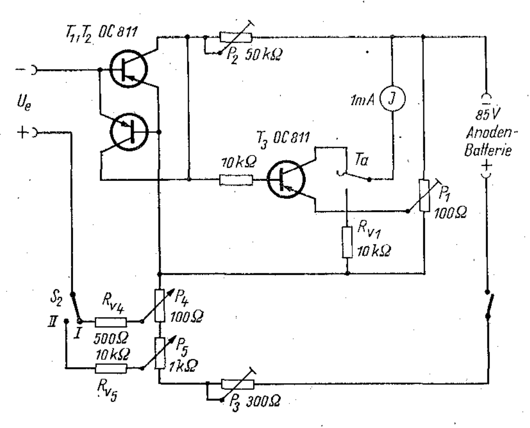


Bild 15 Kompensations-Voltmeter mit Transistoren für Batteriebetrieb. Meßprinzip nach Bild 17. Siehe Text.

die Meßgenauigkeit hängt im wesentlichen nur vom genauen Eichen der Regler P 4 und P 5 ab. Es ist dabei durchaus möglich, eine Meßgenauigkeit von 0,5 % zu erreichen. Die mindeste Meßunsicherheit bei kleinen Spannungen beträgt etwa ± 0,1 V.
Das Instrument I dient nur noch als Stromindikator, dafür genügt ein billiges, ungenaues oder leichtbeschädigtes Meßwerk, das nicht unbedingt mit einer Skala versehen sein muß. Die zu messende Spannung wird bei Ue in der angegebenen Polarität angelegt. Als Stromquelle dient eine 85-V-Koffer-Anodenbatterie, die über S 1 in das Gerät eingeschaltet wird. (Es besteht dann ein Stromkreis über S 1, P 3, P 5, P 4, P 1, Batterie-Minus.) Damit die abgegriffenen Hilfsspannungen und das Meßergebnis stimmen, muß der fließende Strom genau 60 mA betragen. Die Batterie wird also relativ stark belastet. Um Batteriealterungen ausgleichen zu können, muß vor Meßbeginn zunächst Taste Ta gedrückt und mit Regler P 3 am Instrument ein Strom von genau 0,6 mA eingestellt werden. Die Instrumentskala erhält bei 0,6 mA eine Marke, die vor dem Einbau des Instruments durch Vergleich mit einem zweiten anzubringen ist. Weitere Skalenpunkte außer dem ebenfalls zu markierenden Nullpunkt sind am Instrument nicht nötig.

Taste Ta (auch ein kleiner Kippumschalter eignet sich) läßt man nach erfolgter Einstellung von P 3 wieder los, um nunmehr bei offenem Eingang Ue das Instrument P 1 wiederum auf die Marke 0,6 mA einzustellen. P 2 ist dabei zunächst so einzuregeln, daß für die 0,6-mA-Marke P 1 etwa in Mittelstellung kommt. Auf die endgültige Einstellung von P 2 wird noch eingegangen. Später werden P 1 und P 2 nicht mehr verstellt, lediglich P 3 wird von Fall zu Fall nachjustiert.

Nun kann man die zu messende Spannung bei Ue anlegen. Gleichzeitig greifen wir vom Potentiometer P 4 oder P 5 (je nach Stellung des Meßbereichsschalters S 2: I = 0 bis 6 V, II = 6 bis 66 V) eine Hilfsspannung

ab, die ebenfalls mit der angegebenen Polarität an Ue auftritt. Sind Meßspannung und Hilfsspannung verschieden groß, so kommt es zu einem Ausgleichsstromfluß, dessen Richtung davon abhängt, welche der beiden Spannungen überwiegt, und dessen Betrag durch Rv_4 beziehungsweise Rv_5 begrenzt wird. Dieser Ausgleichsstrom fließt durch die Transistoren T 1 oder T 2, deren Basis-Emitter-Strecken antiparallel geschaltet sind. Je nach Richtung des Ausgleichsstroms ist also einer der beiden Transistoren durchgesteuert. Kollektorseitig liegen T 1 und T 2 parallel, P 2 ist ihr gemeinsamer Kollektorwiderstand. Solange ein Ausgleichsstrom über T 1 oder T 2 fließt, steht demzufolge nur eine geringe Restspannung zwischen Kollektor T 1, T 2 und dem Verbindungspunkt P 1 — P 4. Diese Spannung gelangt über den 10-kOhm-Widerstand an die Basis von T 3. Da dessen Emitter über P 1 aber ein negativeres Potential hat als der Verbindungspunkt P 1 — P 4, ist T 3 gesperrt, und das Instrument zeigt keinen Stromfluß. Die Hilfsspannung wird nun – je nach Größe der Meßspannung – mit P 4 oder P 5 langsam erhöht. Sobald sie genau die Größe der Meßspannung erreicht hat, fließt kein Ausgleichsstrom mehr, daher wird in diesem Moment weder T 1 noch T 2 durchgesteuert. Beide Transistoren sperren, wodurch an ihren Kollektoren jetzt über P 2 ein negatives Potential auftritt, das – da über P 2 kein nennenswerter Strom mehr fließt – höher ist als das am Schleifer von P 1 abgegriffene. Damit erhält die Basis von T 3 negatives Potential und über P 2 und den 10-kOhm-Widerstand einen Basisstrom, T 3 wird aufgesteuert, und das Instrument zeigt einen Stromfluß an. Diese Anzeige – deren absoluter Wert nicht interessiert – gibt die Gewähr, daß die Hilfsspannung an P 4 oder P 5 genau gleich der an Ue liegenden Meßspannung ist. An P 4 oder P 5 liest man jetzt die Größe der Hilfsspannung ab, sie ist gleich der unbekannten Meßspannung an Ue. Bei weiterer Erhöhung der Hilfsspannung beginnt der

Ausgleichsstrom über T 1 und T 2 und die Meßspannungsquelle erneut – jetzt in umgekehrter Richtung – zu fließen, so daß das Transistorpaar T 1, T 2 durchgesteuert wird. An seinen Kollektoren sinkt das Potential und sperrt damit wieder T 3. Die Stromanzeige am Instrument verschwindet also wieder. Die geeichten Regler P 5 und P 4 werden jeweils so lange verstellt, bis das Instrument einen Strom anzeigt. Dann lesen wir die unbekannte am Regler liegende Spannung ab. Bei richtiger Einstellung von P 1 und P 2 ist der „Strom-Dip" am Instrument sehr scharf ausgeprägt, die Eichregler müssen also langsam durchgedreht werden, um den Dip nicht zu übersehen. P 2 wird bei der ersten Inbetriebnahme so eingestellt, daß sich ein möglichst schmaler Strom-Dip am Instrument ergibt, das heißt auf möglichst hohen Wert. Er darf jedoch nicht so hoch sein, daß bei offenen Ue-Klemmen P 1, um die Marke 0,6 mA zu erreichen, fast bis zum Anschlag gedreht werden muß. Das erste Einstellen erfordert zwischen beiden Reglerstellungen einen günstigen Kompromiß, der weitgehend von den Exemplardaten der Transistoren abhängt. Später werden P 1 und P 2 nicht mehr verstellt. Wie leicht zu erkennen ist, muß das Instrument bei offenen Ue-Klemmen stets einen Ausschlag zeigen, da ja dann kein Ausgleichsstrom über T 1 und T 2 fließen kann.

Falls der Strom-Dip im Bereich II des Schalters S 2 zu schmal ist, um ihn mit Sicherheit einzustellen, kann er durch Vergrößerung von Rv_5 verbreitert werden, was allerdings auf Kosten der Meßgenauigkeit geht. Mit diesem materiell wenig aufwendigen Meßverfahren erreicht man tatsächlich eine Meßgenauigkeit, die im wesentlichen nur von den genauen Werten der Regler P 4 und P 5 abhängt. Diese Regler sollen daher mit großen Skalen versehene Präzisions-Drahtpotentiometer sein. Sie können mit Zirkel und Winkelmesser von 0 bis 6 V (P 4) beziehungsweise 6 bis 66 V (P 5) geeicht werden. Genauere Ergebnisse erzielen wir

allerdings auf elektrischem Wege, indem wir eine bekannte, über Potentiometer stetig veränderliche Gleichspannung entsprechender Größe an Ue legen. Den Ue-Klemmen wird dabei noch ein Vielfachmesser oder ein anderes genaues Voltmeter parallelgelegt, dessen Anzeige man sinngemäß auf die Regler überträgt. – An die Transistoren sind, um die genannte Genauigkeit zu erreichen beziehungsweise überhaupt die Schaltungsfunktion zu gewährleisten, einige Forderungen zu stellen. T 1 und T 2 brauchen nicht gepaart zu sein, müssen jedoch eine Stromverstärkung von wenigsten 50 aufweisen (sonst wird der „Dip" zu breit) und einen möglichst geringen Kollektor-Reststrom (möglichst unter 150 μA) haben. Auch für T 3 ist eine Stromverstärkung von wenigstens 45 bis 50 zu fordern, der Kollektor-Reststrom ist dort weniger kritisch.
Der Aufbau ist wenig kompliziert. Als Gehäuse eignet sich eine Zigarrenkiste, die genügend Platz für die großen Skalen von P 4 und P 5 bietet. Zwischen beiden Skalen werden S 1, S 2 und Ta sowie (für Schraubenziehereinstellung) P 3 eingebaut. P 1 und P 2, die Batterie sowie alle übrigen Teile lassen sich bequem im Gehäuse unterbringen. Das Instrument können wir entweder fest einbauen oder ein anderweitig vorhandenes Instrument (Vielfachmesser, Multiprüfer o. ä. geeignetes Meßwerk) über Buchsen und lose Leitung außen anschließen. Die beim Messen kleiner Spannungen grundsätzlich vorhandene Meßunsicherheit von $\pm$0,1 V erklärt sich aus der Kniespannung der Basis-Emitter-Strecken der Transistoren T 1 und T 2. Diese muß von der Differenz zwischen Meßspannung und Vergleichsspannung (Hilfsspannung) überwunden werden.

1.3.2. Kompensations-Voltmeter mit Transistoren für Netzbetrieb

Der Nachteil des eben beschriebenen Kompensations-Voltmeters besteht darin, daß keine höheren Span-

nungen als 66 V meßbar sind. Verständlicherweise kann die Meßspannung nicht höher sein als die verfügbare Hilfsspannung, jedoch lassen sich Batterien mit höheren Spannungen nicht verwenden. Nachteilig ist ferner, daß wir ohne eine relativ große 85-V.-Anodenbatterie nicht auskommen, die durch die starke Belastung (60 mA) verhältnismäßig schnell unbrauchbar wird.

Sofern man das Voltmeter ortsfest nur in der Werkstatt benutzt, ist es günstig, die Hilfsspannung aus dem Netz zu entnehmen.

Bild 16 zeigt die Schaltung eines netzbetriebenen Transistor-Kompensations-Voltmeters, das in Aufbau und Funktion sinngemäß dem in Abschnitt 1.3.1. beschriebenen Gerät entspricht. Es wird hier zur Meßbereichserweiterung ein dritter Meßbereich mit P 6 vorgesehen. Das Gerät hat folglich 3 Ableseskalen, der Bereichsschalter S 2 3 Stufen. Die Meßbereiche sind jetzt: P 4: 0 bis 6 V, P 5: 6 bis 36 V, P 6: 36 bis 336 V (höchste meßbare Spannung). Es ist kennzeichnend für das Meßprinzip, daß wir selbst diese Spannung von über 300 V

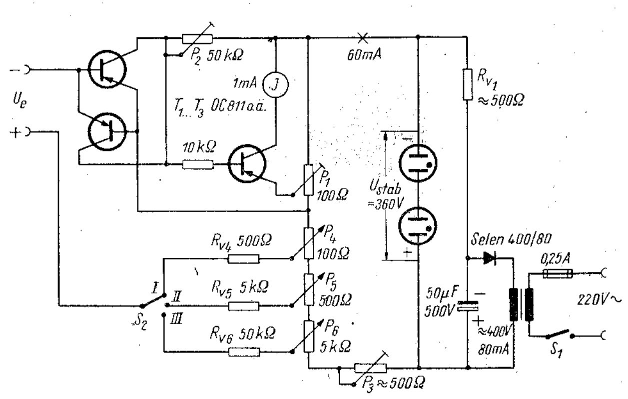


Bild 16 Kompensations-Voltmeter mit Netzbetrieb. Bis auf die Stromversorgung und den erweiterten Meßbereich entspricht diese Schaltung dem Bild 15 beziehungsweise dem Meßprinzip nach Bild 17. Siehe Text

theoretisch auf $\pm$ 0,1 V genau bestimmen könnten, wenn sich der Skalenbereich des Reglers P 6 noch präziser unterteilen ließe. Natürlich ist dies nicht möglich. Nicht genügend fein unterteilte Regler erfordern sogar, daß Rv_6 vergrößert wird, da sonst der schmale Strom-Dip nicht mehr einstellbar ist. Grundsätzlich werden die Vorwiderstände $Rv_4 \ldots Rv_6$ so klein gehalten, daß der Strom-Dip gerade noch breit genug ist, um ihn sicher einzustellen.

P 3 wird wieder so eingeregelt, daß an der in Bild 16 mit X bezeichneten Stelle genau 60 mA fließen. Der Netzteil kann hier sehr einfach gehalten sein und hat lediglich 1 · 400 V bei 80 mA zu liefern (eventuell beide Teilwicklungen eines normalen Netztrafos mit 2 · 200 V ~ in Reihe geschaltet). Der Trafo soll jedoch möglichst eine Schutzwicklung zwischen Primär- und Sekundärwicklung haben, die zu erden ist. Als Gleichrichter kommt ein geeigneter Selengleichrichter oder auch eine Gleichrichterröhre (EZ 80, AZ 11, AZ 12 o. ä.) in Frage. Da diese Spannung unmittelbar als Vergleichsspannung dient, muß sie, damit wir ein genaues Meßergebnis erhalten, unbedingt stabilisiert werden. Hierfür eignen sich 2 in Serie geschaltete 180-V-Stabis oder eine ähnliche 360 V ergebende Kombination. Rv_1 richtet sich nach den Stabis und ist so zu bemessen, daß sie den vorgeschriebenen Querstrom erhalten. Hierfür genügen im allgemeinen schon 20 mA und entsprechend kleine Stabis, da die Belastung ja konstant ist. P 3 wird hier im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen Batteriegerät ebenfalls nur einmal eingestellt und später nicht mehr verstellt.

Alle weiteren Hinweise sind dem vorangegangenen Abschnitt zu entnehmen. Die verwendeten beiden Kompensations-Voltmeter entsprechen in der Praxis — bis auf den anderen Meßvorgang — völlig den angewendeten üblichen Röhrenvoltmetern. Der Eingangswiderstand ist in dem Augenblick, wo der Strom-Dip abgelesen wird, theoretisch unendlich hoch, praktisch jeden-

falls noch höher als bei üblichen Röhrenvoltmetern. Das läßt sich sehr einfach an Hand des Ohmschen Gesetzes zeigen: Wenn trotz angelegter Meßspannung Ue kein Strom in die Ue-Klemmen fließt, muß deren Eingangswiderstand unendlich groß sein. Exakt gilt das natürlich nur für Gleichspannung und bei genauest abgeglichener Kompensationsspannung.
Bild 17 verdeutlicht noch einmal das Meßprinzip des Kompensations-Voltmeters: Ue ist die außen angelegte, unbekannte Spannung, Uh die Hilfsspannung, aus der mittels geeichten Potentiometers P die Kompensationsspannung Uk abgeleitet wird. Solange Uk kleiner als Ue ist, fließt der Ausgleichsstrom i_2 durch den Stromanzeiger I. Ist Uk größer als Ue, so tritt ein Ausgleichsstrom i_1 in umgekehrter Richtung auf. Nur wenn Uk genau Ue entspricht, wird der Ausgleichsstrom gleich Null und der Stromanzeiger I stromlos. Uk können wir dann entweder messen oder – wenn Uh bekannt und P geeicht ist – an P ablesen. Letzterer Weg wurde in Bild 15 und 16 gewählt. Die Hilfsspannung Uh wird hierbei als Spannungsabfall an den Potentiometern durch einen konstanten Strom gegebener Größe gewonnen. Für den Strommesser I, dessen Empfindlichkeit ausschlaggebend für einen möglichst genauen Abgleich („Abgleich" bedeutet hier Einstellen der Bedingung Ue = Uk) ist, wird ein abgewandelter

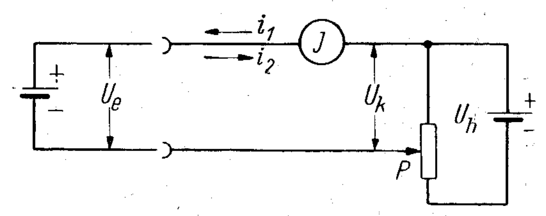


Bild 17 Prinzip der Spannungsmessung durch Kompensation der Meßspannung mit einer gegengepolten Hilfsspannung. Der Stromindikator I dient nur der Feststellung, ob Ausgleichsstrom fließt. i_1: Ausgleichsstrom, wenn Uk größer als Ue ist, i_2: Ausgleichsstrom, wenn Uk kleiner als Ue ist. Bei Ue = Uk ist $i_1 = i_2 = 0$. Siehe Text

Transistorverstärker benutzt. Die Antiparallelschaltung der Transistoren T 1 und T 2 (Bild 15 und 16) ergibt sich aus der Notwendigkeit, daß der Strommesser I (Bild 17) einen Stromfluß in beiden Richtungen ermöglichen muß.

2. Meßgeräte für Hochfrequenz

Vom Amateur können Transistoren in der HF-Meßtechnik zur Zeit leider nur sehr begrenzt angewendet werden, da geeignete HF-Transistoren, insbesondere solche mit Grenzfrequenzen über 10 MHz, noch nicht ausreichend erhältlich sind. So ist es für den Amateur gegenwärtig noch schwierig, im Kurzwellen- und Ultrakurzwellenbereich geeignete Schwingschaltungen, wie aktive Dip-Meter, mit Transistoren aufzubauen.* Deshalb wurde hier auf derartige Schaltungen verzichtet, da dieses Büchlein in erster Linie als Anleitung für den Amateur-Praktiker gedacht ist. Entsprechende Schaltungen sind in der einschlägigen Literatur zu finden.
Im folgenden Abschnitt werden nur Transistoren für Frequenzen unter 7 MHz verwendet.

2.1. Absorptions-Frequenzmesser (Dip-Meter) mit Transistoren

Im Heft 20 dieser Reihe wurde bereits ein passives Dip-Meter beschrieben. Zweck und Anwendung dieses für den Funkamateur unentbehrlichen Instruments werden hier als bekannt vorausgesetzt. Das in Heft 20 beschriebene Dip-Meter erforderte jedoch noch das für diese Geräte übliche Meßgerät als Anzeigeinstrument. Im folgenden wird eine weiterentwickelte Schaltung beschrieben, die als Indikator einen Kopfhörer oder Kleinhörer benutzt, womit das ganze Dip-Meter be-

* Die erst nach Redaktionsschluß in den Handel gekommenen Transistoren OC 880 . . . 883 konnten hier noch nicht berücksichtigt werden. Mit ihnen sind derartige Schaltungen jetzt möglich.

deutend billiger und einfacher aufzubauen ist. Ein Meßinstrument benötigen wir nicht.
Bild 18 zeigt die Schaltung dieses Gerätes. HF-seitig ist es ebenso wie das in Heft 20 beschriebene Dip-Meter aufgebaut, so daß sich nähere Ausführungen erübrigen. Die Steckspulen für die einzelnen Bereiche werden wiederum auf Luftspulenkörper (Keramik oder Pertinaxrohr) mit 30 mm Durchmesser gewickelt und auf vierpolige Röhrenstiftsockel (Europasockel) montiert (Anschlüsse A-B-C-D in Bild 18). Die Stifte C und D sind in jeder Steckspule verbunden, so daß das Gerät beim Aufstecken einer Spule eingeschaltet wird und ein besonderer Einschalter entfällt. Der in Frequenzen geeichte Abstimmungskondensator C_a beträgt auch hier 10 pF. Die Daten der Spulen entsprechen den in Heft 20 angegebenen und werden hier vollständigkeitshalber wiederholt:

KW-Band

160 m:			
L 1 = 65	Wdg. 0,2 CuL	L 2 = 6 Wdg. 0,2 CuL	C_{Tr} = 60 pF
80 m:			
L 1 = 32	Wdg. 0,2 CuL	L 2 = 3 Wdg. 0,2 CuL	C_{Tr} = 60 pF
40 m:			
L 1 = 12	Wdg. 0,2 CuL	L 2 = 1,5 Wdg. 0,2 CuL	C_{Tr} = 60 pF
20 m:			
L 1 = 9	Wdg. 0,5 CuL	L 2 = 1 Wdg. 0,5 CuL	C_{Tr} = 30 pF
15 m:			
L 1 = 5	Wdg. 0,8 CuAg	L 2 = 1 Wdg. 0,8 CuAg	C_{Tr} = 30 pF
10 m:			
L 1 = 3,5	Wdg. 0,8 CuAg	L 2 = 0,5 Wdg. 0,8 CuAg	C_{Tr} = 20 pF

Der Trimmer C_{Tr} ist in jeder Steckspule im Fuß einmal vorhanden. Die HF-Gleichrichtung erfolgt bei diesem Absorptions-Frequenzmesser mit einer Germaniumdiode OA 625, deren Richtspannung der Basis des Gleichstromverstärkers T 1 zugeführt wird. Solange keine Richtspannung (dementsprechend keine Resonanz im Schwingkreis) vorhanden ist, hat die Kollektor-Emitter-Strecke von T 1 einen relativ hohen Widerstand. Am Kollektor von T 1 wird die Betriebsspannung für einen Transistorsummer mit T 2 und Ü abgegriffen.

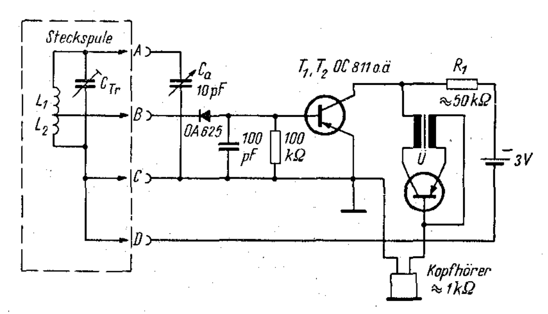


Bild 18 Absorptions-Frequenzmesser mit Transistorsummer als Indikator. Siehe Text

Der Widerstand R 1 (Richtwert etwa 50 kOhm) wird je nach Transistor so bemessen, daß der Summer gerade sicher anschwingt. Im Kopfhörer ist dann ein Summton hörbar. Der Summer mit T 2 arbeitet in Basisschaltung und kommt bereits mit sehr geringer Spannung und geringem Strom aus.

Sobald durch Resonanz am Schwingkreis eine HF-Spannung und damit an der Basis von T 1 eine Richtspannung auftritt, „zieht" T 1 mehr Kollektorstrom. Infolge des Spannungsabfalls an R 1 fällt das Spannungspotential am Kollektor von T 1 und damit die Betriebsspannung für den Summer ab. Wenn R 1 ausreichend groß bemessen ist, führt das bereits bei geringen HF-Spannungen zu einer merklich veränderten Tonhöhe des Summers, bei stärkeren HF-Spannungen setzt der Summer ganz aus. Diese relativ einfache Anordnung ergibt eine überraschend hohe Empfindlichkeit, die nicht geringer ist als die des in Heft 20 beschriebenen, mit einem 2stufigen Gleichstromverstärker versehenen Absorptions-Frequenzmessers. Mit diesem Gerät läßt sich bequemer arbeiten, da bei der Abstimmung des Dippers jetzt nicht das Instrument beobachtet werden muß. Man kann sich also voll auf den Abstimmvorgang und die Ankopplung des Dippers, der einfacher zu handhaben ist, konzentrieren. Bei dieser Konstruktion wird außerdem Material eingespart.

Neu hinzugekommen gegenüber der in Heft 20 gezeigten Schaltung ist lediglich der Übertrager Ü. Dafür entfällt das wesentlich kostspieligere Meßinstrument. Ein Kopfhörer ist in der Amateurwerkstatt stets vorhanden.
Für die Transistoren T 1 und T 2 eignen sich alle Typen der Leistungsklasse bis 150 mW, wobei T 1, um eine gute Empfindlichkeit zu gewährleisten, möglichst hohe Stromverstärkung haben soll. An T 2 werden dagegen keinerlei Forderungen gestellt. Hier genügt ein minderwertiges Exemplar mit niedriger Verstärkung und hohem Reststrom. Es sind also keine HF-Transistoren erforderlich. Die Batterie kann eine 3-V-Stabbatterie oder eine ähnliche Kleinbatterie sein, der Stromverbrauch liegt noch unter 0,1 mA, so daß die Lebensdauer der Batterie wenigstens 1 Jahr beträgt. Als Übertrager Ü kommt eine geeignete Kleinausführung in Betracht, deren Übersetzungsverhältnis bei etwa 1 : 1 bis 1 : 5 liegen soll und ebenso wie die Wicklungswiderstände nicht kritisch ist. Dafür eignen sich besonders der bekannte „Sternchen“-Treibertrafo Typ K 20 (VEB Funkwerk Leipzig) oder die Miniaturübertrager Typ 5 K 10, 10 K 8, 15 K 9 und ähnliche vom gleichen Hersteller. Wir können auch einen Übertrager selbst bauen oder alte Telefonübertrager verwenden. Falls der Summer nicht anschwingt, ist eine der Übertragerwicklungen umzupolen. Näheres zur Summerschaltung siehe Heft 35 dieser Reihe, „Transistorschaltungen“ Teil II, Kapitel 6.2.

2.2. ZF-Festfrequenzgenerator für 465 bis 475 kHz

Jeder Amateur und Radiobastler, der seinen ersten AM-Superempfänger aufgebaut hat, steht damit vor dem Abgleichproblem. Ein Prüfgenerator ist nicht immer greifbar. Andererseits ist besonders der ZF-Abgleich ohne Prüfgenerator nicht einfach, während Oszillator und Vorkreise mit etwas Geduld leichter nach

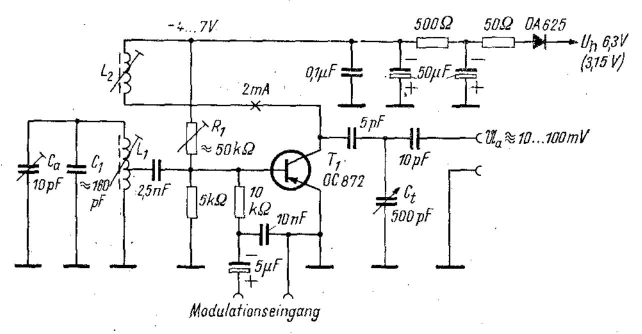


Bild 19 Transistor-ZF-Festfrequenzgenerator für 470 ± 5 kHz. Erklärung im Text

einfallenden Sendern abzustimmen sind, wenn die ZF-Kreise erst einmal genau stimmen. Für derartige Zwecke, aber auch für die Reparaturwerkstatt, ist ein kleiner, als Taschengerät gebauter ZF-Generator sehr nützlich, der ein ordnungsgemäßes Abgleichen der ZF-Kreise ermöglicht.

Bild 19 zeigt die Schaltung eines solchen Gerätes. Es ist mit einem HF-Transistor OC 872 bestückt, der in Emitterschaltung betrieben wird und in einer Meißnerschen Rückkopplungsschaltung schwingt, wie man sie ähnlich zum Beispiel beim Transistoraudion benutzt. Der Schwingkreis ist auf die ZF abgestimmt und wird von L 1 und C 1 gebildet. L 2 liegt im Kollektorkreis und bildet die Rückkopplung. Falls der Generator nicht anschwingt, ist L 2 umzupolen. Der Wert von R 1 hängt vom Transistorexemplar ab und wird so bemessen, daß der Transistor einen Kollektorstrom von 2 mA aufnimmt. Der Schwingkreis kann mit C_a (10 pF) um etwa ± 5 kHz verstimmt werden, um die verschiedenen üblichen Zwischenfrequenzen einstellen zu können. Wir versehen diesen Drehkondensator — der leicht selbst aus einem kleinen Trimmer mit aufgesetzter Achse hergestellt werden kann — mit einem Zeigerknopf. Der ZF-Generator wird geeicht, indem wir ihn mit einem zweiten Prüfgenerator oder entsprechenden Empfängern, die

diese Zwischenfrequenzen benutzen, vergleichen. Es genügen dafür die Einstellpunkte der üblichen Zwischenfrequenzen: 465, 468, 470, 473 kHz.

Als kompletten Schwingkreis mit L 1, L 2 und C 1 können wir ein herkömmliches Rundfunk-ZF-Diodenbandfilter mit Anzapfung benutzen, das für 465 oder 468 kHz ausgelegt ist. Die in der üblichen Schaltung zur Demodulator-Diode führende Anzapfung liegt gerade richtig und führt jetzt zum Basiskondensator unseres ZF-Generators. C 1 ist in gebräuchlichen Bandfiltern mit der angegebenen Kapazität von 160 pF bereits vorhanden, mit dem Spulenkern in L 1 läßt sich der Schwingkreis so abgleichen, daß der zusätzliche Abstimmkondensator Ca die gewünschte Frequenzvariation von etwa 465 bis 475 kHz ergibt. Spulenkern und Parallelkondensator zu L 2 werden aus dem Bandfilter entfernt. Bei weniger schwingfreudigen HF-Transistoren kann es vorteilhafter sein, den Spulenkern in L 2 zu lassen beziehungsweise ihn nur wenig einzudrehen. Dies entscheidet der Versuch.

Für den praktischen Abgleich empfiehlt es sich, den ZF-Generator zu modulieren. Dies ist zwar nicht unbedingt erforderlich, da ein Abgleich auch mit unmodulierter ZF erfolgen kann, indem wir die Schwungregelspannung des Empfängers oder die Demodulator-Richtspannung mit einem Röhrenvoltmeter oder Transistor-Voltmeter messen. Erfahrungsgemäß ist es aber angenehmer, wenn auch eine akustische Kontrolle besteht. Die Modulation kann an der Basis des HF-Transistors durch eine dem „Modulations-Eingang“ zugeführte geringe Tonfrequenzspannung erfolgen. Um diese Tonfrequenzspannung zu erzeugen, kann jeder Transistor-Tongenerator, auch Signalgeber aus Abschnitt 3.1.1. dieses Heftes benutzt werden. Eventuell sollte ein solcher Generator gleich mit in den ZF-Generator eingebaut werden. Es ist aber darauf zu achten, daß wir die dem Modulationseingang zugeführte Spannung so gering wie möglich halten. Es kommt sonst zu einer

unzulässig starken gleichzeitigen Frequenzmodulation des ZF-Generators, die den genauen Abgleich unmöglich macht. An sich sind die Verhältnisse im vorliegenden Fall nicht sehr kritisch, da der Transistor an den Schwingkreis relativ lose angekoppelt ist und seine Kenndaten daher nur wenig in die Frequenz eingehen. Das äußert sich übrigens auch in einer ohne besondere Maßnahmen ausreichend guten Frequenzkonstanz gegenüber Temperatur- und Betriebsspannungsschwankungen. Deshalb ist hier die direkte Modulation des Oszillatortransistors zulässig, solange mit hinreichend geringen Modulationsspannungen gearbeitet wird. Die Ausgangsspannung läßt sich in diesem Fall über einen kapazitiven Spannungsteiler regeln. Der Drehko C_t, mit dem die Ausgangsspannung etwa im Verhältnis 1 : 10 (Größenordnung 10 bis 100 mV) geregelt werden kann, ist ein normaler 500-pF-Hartpapier-Quetscherdrehko.

Die Betriebsspannung entnehmen wir entweder in üblicher Weise aus einer Batterie (4,5 bis 6 V), oder wir können — da das Gerät ja ohnehin meist in Verbindung mit netzbetriebenen Empfängern benutzt wird — auf eigene Stromversorgung verzichten und als Betriebsspannung die Heizspannung des abzugleichenden Empfängers verwenden. Diese Schaltungsvariante zeigt Bild 19. Die Heizspannung beträgt im Empfänger entweder 6,3 V (bei einpoliger Erdung der Heizung) oder 3,15 V (falls die Heizung über Entbrummerpotentiometer oder Trafo-Mittelanzapfung o. ä. symmetriert ist). Zur Gleichrichtung genügt bereits eine Diode OA 625, auch eine OY 100 kann verwendet werden. Die für Siebwiderstand (500 Ohm) und Siebelkos (je 50 μF) angegebenen Werte sollen eingehalten werden. Die Betriebsspannung des Generators beträgt dann je nach verfügbarer Heizspannung etwa 4 bis 7 V. Der Generator wird an der Massezuleitung und der Heizspannungs-Zuleitung mit je einer Krokodilklemme versehen, mit denen wir ihn an den entsprechenden Punkten im abzugleichenden Empfänger anklemmen. Ein kurzes HF-Schirm-

kabelstück verbindet dann den HF-Ausgang mit dem jeweiligen Abgleichpunkt. Der Modulations-Eingang wird auf Buchsen gelegt, sofern man es nicht vorzieht, einen einfachen Transistor-Tongenerator als Modulationsquelle gleich fest mit einzubauen.

Zum Aufbau ist wiederum wenig zu sagen. Der Generator wird in ein kleines, mit Masse verbundenes Metallkästchen (Abschirmung!) eingebaut, das in der Deckplatte C_a mit kleiner Skala und C_t nebst den Buchsen für Modulation und HF-Ausgang trägt. Darunter befindet sich der Schwingkreis L 1/L 2 (dessen Metallbecher, wenn er aus einem Bandfilter gewonnen wird, entfernt werden kann), und daneben sind auf einer Lötleiste die übrigen Kleinteile angebracht. Selbstverständlich sind besonders die HF führenden Leitungen kurz und zweckmäßig zu verdrahten. Das komplette Gerät hat dann bei einer Tiefe von 30 bis 40 mm höchstens das Format des vorliegenden Heftchens. Mit etwas Geschick kann es noch wesentlich geringer bemessen sein, wenn ausreichend kleine Drehkos verwendet werden. Das Gerät läßt sich dann jederzeit in der Werkzeugtasche mitführen.

2.3. Durchstimmbarer HF-Prüfgenerator für Mittelwelle, Langwelle und Zwischenfrequenz

Wie bereits erwähnt wurde, ist der Aufbau von Kurzwellen-Oszillatoren für Meßzwecke mit den derzeit greifbaren HF-Transistoren noch schwierig. Der HF-Transistor OC 872 gestattet es aber bereits, einen Werkstatt-Prüfgenerator aufzubauen (bei dem auf die Kurzwellenbereiche verzichtet wird), der alle Anforderungen der Reparatur- und Amateurpraxis ausreichend erfüllt. Die Vorteile gegenüber dem Röhren-Prüfgenerator bestehen darin, daß er bei geringem Aufwand wesentlich kleiner und einfacher aufgebaut werden kann und ständig netzunabhängige Betriebsbereitschaft hat.

Bild 20 zeigt die Schaltung eines solchen Prüfgenerators, dessen Oszillatorschaltung auf einen Schaltungs-

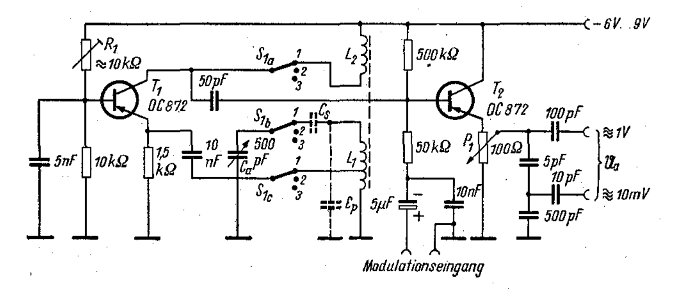


Bild 20 Durchstimmbarer HF-Prüfgenerator für Mittelwelle, Langwelle und ZF. Einzelheiten im Text. Wird für Tr ein OC 882 oder OC 883 benutzt, so kann das Gerät zusätzlich mit Kurzwellenbereichen versehen werden.

vorschlag in [2] zurückgeht. T 1 ist der Oszillatortransistor, der hier in Basisschaltung arbeitet, wodurch sich eine höhere Schwingfrequenz erreichen läßt. R 1 wird so eingestellt, daß der Oszillator in allen Bereichen sicher anschwingt, wobei der Kollektorstrom von T 1 — der im Normalfall dann bei 2 bis 3 mA liegen wird — nicht höher als notwendig sein soll. L 1 ist die Schwingkreisspule, L 2 die Rückkopplungsspule. Falls kein Anschwingen erreicht wird, muß L 2 umgepolt werden. C_a ist der mit Zeiger und großer Skala versehene Abstimmkondensator. Er wird über einen Feintrieb (oder Seilantrieb ähnlich wie in Rundfunkgeräten, auch der Skalenaufbau kann ähnlich wie bei Rundfunkgeräten gewählt werden) angetrieben, um genügend feine Einstellung zu ermöglichen. Für C_a verwenden wir einen guten 500-pF-Luftdrehko normaler Größe. Schon hier sei auf die Ausführung der Skala von C_a hingewiesen. Sie muß groß genug sein, um 3 Frequenzbereiche, genügend fein unterteilt, aufzunehmen. — Die Spulen L 1 und L 2 sind 3fach vorhanden. Für jeden Wellenbereich existiert ein Spulensatz, der über den Bereichsschalter S 1 a bis c eingeschaltet wird. Dieser Schalter kann ein 3poliger Dreistufenschalter hochwertiger Ausführung (Keramikschalter mit Edelmetallkontakten) sein, oder wir benutzen dafür einen 3teiligen Neumann-Tasten-

schalter, auf dessen Kontaktplatine zwischen den Kontaktschiebern dann gleich die Spulen montiert werden können. Das ganze Spulenaggregat sieht dann wie ein üblicher Dreibereich-Superspulensatz aus. Es läßt sich daher sehr günstig aus einem solchen alten Spulensatz herstellen, indem wir die Spulen entsprechend umwikkeln und die Anschlüsse verändern. Die Spulen werden auf die üblichen kleinen Stiefelspulenkörper mit 8 mm ∅ und HF-Eisenkern gewickelt. Mit dem Eisenkern kann dann bei der Ersteichung der Feinabgleich der Bereiche erfolgen. L 2 wird jeweils mit 3 mm Abstand am kalten Ende von L 1 aufgewickelt. Für L 1 benutzt man HF-Litze, bei L 2 genügt CuL-Draht 0,12 bis 0,2 mm ∅. Der punktiert angedeutete Serienkondensator Cs ist nur im Bereich 1 (ZF) vorhanden, im Bereich 2 und 3 (Mittel- und Langwelle) entfällt er.

Der ebenfalls punktiert angedeutete Parallelkondensator C_p ist im Bereich 1 (ZF) ein Festkondensator von 200 pF, in den Bereichen 2 und 3 (Mittel- und Langwelle) ein Trimmer 30 pF. Der Feinabgleich der Bereiche 2 und 3 erfolgt dann — vergleichbar mit dem Abgleich der Vorkreise eines Supers — am höherfrequenten Bereichsende (C_a ausgedreht) mit C_p, am niederfrequenten Bereichsende (C_a eingedreht) mit dem Spulenkern, im Bereich 1 in Skalenmitte nur mit dem Spulenkern von L 1.

Nachfolgend werden die in den Bereichen 1 bis 3 erfaßten Frequenzen und die zugehörigen Spuleninduktivitäten angegeben, nach [2]:

Bereich 1: ZF 450 bis 480 kHz, L 1: 0,4 mH
L 2: 0,15 mH;

Bereich 2: Mittelwelle 500 bis 1600 kHz, L 1: 0,2 mH,
L 2: 0,07 mH;

Bereich 3: Langwelle 150 bis 400 kHz, L 1: 2 mH,
L 2: 0,6 mH.

Die erforderlichen Windungszahlen der Spulen richten sich nach den Kernkonstanten (K-Werten) der vorhan-

denen Spulenkerne und können, wenn der K-Wert bekannt ist, nach den in der Literatur vielfach angegebenen Berechnungen oder Nomogrammen bestimmt werden.

Vom Kollektor des Oszillatortransistors wird über 50 pF die HF-Schwingung abgenommen und der in Kollektorschaltung arbeitenden Ausgangsstufe mit dem HF-Transistor T 2 zugeführt. Diese Stufe hat 2 Funktionen: Einmal ergibt sie den für die Praxis vorteilhaften niederohmigen Ausgang und verhütet Rückwirkungen vom Ausgang auf den Oszillator, zum anderen wirkt sie als Modulationsstufe. Zu diesem Zweck wird der Basis von T 2 über ein Entkopplungsglied 50 kOhm/10 nF, das ein Abfließen der HF verhindert, eine NF-Modulationsspannung zugeführt. Diese kann wieder einem beliebigen Tongenerator, am besten einem einfachen Transistor-Summer, entnommen werden. Wie schon im vorigen Abschnitt erwähnt, muß auch hier wieder darauf geachtet werden, daß die zugeführte Modulationsspannung nicht zu hoch ist, da es sonst zu Übermodulationserscheinungen kommen kann. Die Verhältnisse sind jedoch nicht so kritisch wie in Bild 19, da der Oszillator nicht unmittelbar moduliert wird.

Die HF-Spannung stellt man mit dem Ausgangsspannungsregler P 1 ein. Sie ist zwischen 10 mV bis 1 V HF-Spannung regelbar. Der entsprechend niederohmige Regler — es eignet sich ein kleines Entbrummerpotentiometer oder besser ein Kohleschichtregler in Metallgehäuse — ermöglicht uns, eine Ohmsche Spannungsteilung überhaupt wirkungsvoll anzuwenden. Der Regler kann ebenfalls erst durch den Betrieb der Trennstufe T 2 in Kollektorschaltung verwendet werden. Über eine kapazitive Spannungsteilung 5 pF/500 pF wird die Ausgangsspannung nochmals im Verhältnis 1 : 100 untersetzt auf einen zweiten Ausgang gegeben, an dem folglich die HF-Spannung zwischen etwa 100 μV bis 10 mV regelbar ist. Um derart geringe HF-Spannungen entnehmen zu können, müssen wir allerdings für beide

Ausgangsbuchsen Koaxial-Abschirmbuchsen (HF-Antennenbuchsen) verwenden und beide Buchsen rückseitig mit einer Blechwand gegeneinander abschirmen. Beide Buchsen sitzen in einer eigenen Abschirmkammer, daneben ebenfalls in eigener Abschirmkammer der Regler P 1. Anderenfalls kann die Ausgangsspannung kaum derart weit herabgeregelt werden. Das hat natürlich auch nur einen Sinn, wenn wir den kompletten Generator in ein völlig geschlossenes Metall-Abschirmgehäuse einbauen.

Die Aufbauform richtet sich vollständig nach der gewählten Skalenform von C_a . Ihre Größe bestimmt die Frontplattengröße, P 1 und die Buchsen für Ausgang und Modulation finden daneben Platz. Benutzt man für S 1 a bis c einen Tastenschalter, so können auf seinen freien Kontakten gleich alle übrigen Bauteile bis zum Emitter von T 2 montiert werden. Eine günstige Form des Gerätes ergibt sich zum Beispiel dann, wenn der Tastenschalter quer unter der Skala – für die eine Linearskala ähnlich der moderner Rundfunkgeräte in Frage kommt – und dem Drehko C_a montiert wird. Rechts neben der Skala finden P 1, der Batterieschalter und die Anschlüsse Platz, links hinter der Skala neben dem Drehko die Batterie. Das ganze Gerät kann dann sehr kompakt gebaut werden und wird bei einer Tiefe, die der des Tastenschalters entspricht, nur wenig größer als die Skala selbst. Als Batterie kommen 2 Stabbatterien, 4 Monozellen, 2 Flachbatterien oder ähnliches in Betracht, die – da die Gesamtstromaufnahme in jedem Fall noch unter 10 mA liegt – sehr lange ausreichen.

2.4. Feldstärke-Indikator hoher Empfindlichkeit für den Sende-Amateur

Zweck und Anwendung eines Feldstärke-Indikators sind bekannt. Im allgemeinen benutzt ihn der Sende-

Amateur zum Ausrichten und Trimmen seiner Antennen. Bei kleinen Sendeleistungen reicht die Empfindlichkeit üblicher einfacher Indikatoren oft nicht aus, außerdem wird dann ein relativ teures und empfindliches Meßinstrument (Mikroamperemeter) gebraucht. Es ist darüber hinaus wünschenswert, die Feldstärke und die Strahlrichtung der Antenne sowie eventuelle Nebenzipfel auch in etwas größerer Entfernung von der Antenne prüfen zu können. Die Verstärkung der vom Indikator gelieferten, dann sehr geringen Dioden-Richtströme durch Transistoren liegt nahe. Bild 21 zeigt eine solche Schaltung. Um die Wirksamkeit von an der Sendeantenne vorgenommenen Maßnahmen sofort erkennen zu können, ist es meist erforderlich, das Ableseinstrument bei der Sendeantenne zu haben. Es muß also über eine längere Leitung mit dem Indikator verbunden werden. Die Fortleitung der geringen Dioden-Richtströme über diese Leitung ist kaum möglich, der Transistorverstärker muß direkt beim Indikator sein. Um trotzdem mit einer üblichen 2adrigen Leitung auszukommen — die wir von Fall zu Fall mit Klingeldraht oder ähnlichem improvisieren können —, wurde der 2stufige Transistorverstärker mit T 1 und T 2 in Bild 21 als Tandemverstärker aufgebaut.

Die Antenne kann je nach Verwendungszweck entweder ein Schleifendipol oder eine Stabantenne mit Erde oder Gegengewicht sein. Die von ihr abgegebene

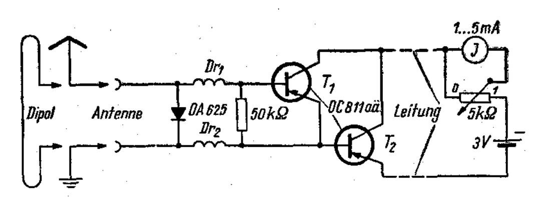


Bild 21 Feldstärke-Indikator zum Testen der Abstrahlungsverhältnisse von Amateursender-Antennen (mit Anzeigeverstärker). Das Gerät ist für hohe Empfindlichkeit ausgelegt, Antennenform nach Bedarf. Erklärung im Text

HF-Energie wird mit einer Germaniumdiode OA 625 (Polung beachten!) gleichgerichtet. Über 2 HF-Drosseln Dr_1 und Dr_2, die nicht kritisch sind und deren Ausbildung sich nach dem Frequenzbereich richtet, in dem der Indikator eingesetzt werden soll, gelangt die Dioden-Richtspannung an die Basis des Transistors T 1. Dessen Emitterstrom steuert wiederum T 2 an, beide Transistoren kann man hier annähernd als einen Transistor mit dem resultierenden Stromverstärkungsfaktor $\beta_{ges} = \beta_1 \cdot \beta_2$ auffassen, wobei β_1 und β_2 die Stromverstärkungsfaktoren der einzelnen Transistoren sind. Werden für beide Transistoren Exemplare mit einer Stromverstärkung um beispielsweise 50 eingesetzt, so ergibt sich eine Stromverstärkung von rechnerisch 2500, praktisch sind dann etwa 2000 zu erreichen. Das bedeutet, daß ein Dioden-Richtstrom von nur 1 μA bereits einen Stromzuwachs am Instrument von rund 2 mA ergibt.

Die ganze Einrichtung arbeitet daher außerordentlich empfindlich. Falls wir für T 1 einen HF-Transistor benutzen (OC 872), kann auf die Diode verzichtet werden. Die Antenne schließen wir dann parallel zu dem 50-kOhm-Widerstand an (dieser Widerstand hat die Aufgabe, den störenden Kollektor-Reststrom von T 1 zu senken, der ja ebenfalls von T 2 nachverstärkt wird) und schalten die Drosseln Dr_1 und Dr_2 in die abgehende Leitung ein. Damit wird die HF unmittelbar in T 1 gleichgerichtet. Das ist bei geringen Antennenspannungen deshalb vorteilhaft, weil dann die Dioden-Richtspannung nicht wie in Bild 21 die Basis-Kniespannung von T 1 überwinden muß. Der Indikator spricht dann auch bei sehr geringen Antennenspannungen noch mit deutlichem Stromanstieg an. Diese Empfindlichkeitssteigerung kann allerdings, wenn man ungeeignete Transistoren verwendet, durch deren große Basis-Emitter-Kapazität weitgehend reduziert werden. Es ist daher von Fall zu Fall auszuprobieren, ob sich mit den vorhandenen Transistoren mit oder ohne zusätzliche

Diode die bessere Empfindlichkeit ergibt.* Verwenden wir eine Diode und die Schaltung nach Bild 21, kommen für die Transistoren alle üblichen Kleintypen bis 150 mW in Frage. Zu bevorzugen sind jedoch Exemplare mit nicht zu geringer Stromverstärkung und — besonders bei T 1 — möglichst geringem Reststrom. Trotzdem wird — verursacht durch den trotz des 50-kOhm-Basiswiderstands vorhandenen Reststrom von T 1 — auch bei fehlender HF eine gewisse Stromanzeige am Instrument I vorhanden sein, die je nach Umgebungstemperatur der Transistoren unterschiedlich sein kann. Da es hier nur auf Relativanzeige der Stromzunahme bei HF-Spannung ankommt, stört das nicht weiter, solange der Grundbetrag („Ruhestrom") nicht infolge ungeeigneter Transistoren zu hoch ist. Als Instrument kommt ein beliebiger Strommesser einfachster Art in Frage, an dessen Genauigkeit keinerlei Ansprüche gestellt werden. Es ist auch zweckmäßig, einen lose angeschlossenen Vielfachmesser zu verwenden. Das 5-kOhm-Potentiometer dient zur Empfindlichkeitsregelung und zum Schutz der Transistoren bei hohen HF-Spannungen. Es wird vor Beginn der Messung auf Null gestellt. Man beachte, daß bei hohen HF-Spannungen bereits ein „Zuschieben" der Transistoren auftreten kann. Der 5-kOhm-Widerstand läßt sich dann nicht weit genug aufdrehen, ohne daß der Kollektorstrom über 5 bis 10 mA (höchstzulässiges Maß, Vorsicht!) ansteigt. Geringe Änderungen der HF-Spannung zeigt dann das Instrument infolge Übersteuerung der Transistoren nicht mehr an. Man hilft sich durch Verkleinern oder entsprechend geänderte Ausrichtung der Indikatorantenne, bis die vom Indikator aufgenommene HF-Energie so gering ist, daß das Potentiometer voll aufgedreht werden kann.

* Hier sind die neuen HF-Transistoren OC 880 . . . 883 bei T_1 besonders erfolgversprechend.

3. Meßgeräte für Niederfrequenz

3.1. Signalverfolger-Einrichtung für die Reparaturwerkstatt

Das Fehlersuchverfahren der Signaleinspeisung und Signalverfolgung (engl. *signal-injecting, signal-tracing*) gehört zu den modernsten und zeitsparendsten Fehlersuchmethoden. Es bürgert sich daher auch in der Werkstattpraxis und beim Amateur immer mehr ein. Man kann dabei – zum Beispiel bei Empfängern – mit einem Verstärker mit Tastkopf das durchlaufende Signal, angefangen von der Antennenbuchse über Misch- und ZF-Stufen, Demodulator und NF-Verstärker bis zum Lautsprecher abtasten und abhören. Die Stufe, an deren Ausgang das Signal nicht mehr einwandfrei vorhanden ist, enthält dann den Fehler. In einem anderen Falle wird bei Verstärkern und auch bei Empfängern ein geeignetes Tonsignal beziehungsweise HF-Signal eingespeist, wobei man beim Lautsprecher beginnt und über alle Stufen rückwärts bis zur Antennenbuchse geht. Auch auf diese Weise erkennt man die defekte Stufe am aussetzenden Signal.
Die für dieses Verfahren benötigten Geräte – ein Tongenerator, der ein kombiniertes NF/HF-Gemisch abgeben kann, und ein Verstärker mit Demodulator und HF- und NF-Eingang – sind darüber hinaus universell zu verwenden und sollten daher auch in der Werkstatt des Amateurs zur Standardausrüstung gehören. Mit Transistoren sind beide Geräte leicht aufzubauen. Im folgenden wird ein für diesen Zweck geeigneter Multivibrator (Signalinjektor) und ein Kontrollverstärker (Signalverfolger, signal-tracer) beschrieben.

3.1.1. Der Signalinjektor

Einen Multivibrator mit regelbarer Frequenz und Ausgangsspannung sowie hohem Oberwellengehalt zeigt

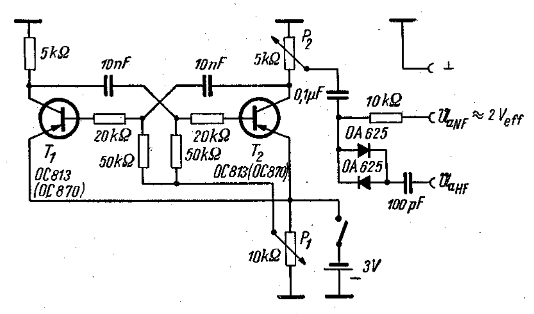


Bild 22 Multivibrator mit regelbarer Frequenz und Ausgangsspannung. Am HF-Ausgang wird mit zusätzlichen Dioden ein hoher Oberwellenanteil der Grundschwingung erzeugt. Verwendbar als Signalinjektor für NF und HF bis etwa 7 MHz. Siehe Text

die Schaltung in Bild 22. Das Grundprinzip eines Transistor-Multivibrators ist bekannt und wurde schon vielfach in [1], [2] und mehreren anderen Heften der vorliegenden Broschürenreihe beschrieben. Die Schaltung (Bild 22) weicht insofern etwas vom Üblichen ab, als hier im Hinblick auf günstigere Abnahme der Ausgangsspannung der Minuspol der Batterie an Masse angeschlossen ist. Die Frequenz kann mit dem Regler P 1 in einem großen Bereich geregelt werden und liegt in Mittelstellung dieses Reglers bei etwa 800 bis 1000 Hz. Indem wir die 10-nF-Basiskondensatoren vergrößern oder verkleinern, wird sie in sehr weiten Grenzen geändert (von unter 1 Hz bis zu etwa 100 kHz). Die Frequenzregelung erfolgt hier durch Änderung der Basisvorspannung, was den Vorteil hat, daß man mit einem einfachen Potentiometer auskommt. Der Kollektorwiderstand von T 2 ist ebenfalls als Potentiometer (P 2) ausgebildet, das die Ausgangsspannung regelt. Um mit dem Signalinjektor auch HF-Stufen (zum Beispiel Misch- und ZF-Stufen eines Supers) abtasten zu können, muß die erzeugte Rechteckschwingung sehr oberwellenhaltig sein, das heißt steile Flanken aufweisen. Das erreichen wir durch die jeder Basis vorgeschalteten 20-kOhm-

Widerstände, wobei es sich empfiehlt, Transistoren mit nicht zu geringer Grenzfrequenz (OC 813, OC 870, noch günstiger OC 871 oder OC 872) zu verwenden. Die erzeugte NF-Spannung ist am NF-Ausgang mit maximal etwa 2 V ~ abzugreifen. Zum Abtasten von HF-Stufen benutzt man den HF-Ausgang. Hier wird die Rechteckschwingung durch die nichtlinearen Kennlinien zweier antiparallel geschalteter Dioden OA 625 (auch alle ähnlichen Diodentypen sind geeignet) zusätzlich mit Oberwellen angereichert. Die Oberwellen der NF-Schwingung reichen bei dieser Schaltung bis in das Kurzwellengebiet, sind also beim Anschluß des HF-Ausganges zum Beispiel an die Antennenbuchse eines Rundfunkempfängers noch mindestens bis in das 40-m-Band hinein hörbar. Der Empfänger beziehungsweise die zu prüfende HF-Stufe des Empfängers sucht sich gewissermaßen aus dem angebotenen breiten Frequenzspektrum die in Frage kommende Frequenz selbst heraus. Eine besondere Abstimmung ist also nicht erforderlich.

Als Batterie verwenden wir eine kleine 3-V-Stabbatterie. Das Gerät wird in ein kleines Metallgehäuse eingebaut. Hierfür eignet sich zum Beispiel ein Bandfilter-Spulenbecher, wenn entsprechend kleine Regler für P 1 und P 2 (Knopfpotentiometer vom „Sternchen"-Empfänger) vorhanden sind. Der Wert für P 1 ist übrigens nicht kritisch und kann auch niedriger sein, was lediglich eine etwas stärkere Batteriebelastung ergibt. Wenn für P 1 und P 2 „Sternchen"-Regler benutzt werden, kann mit dem angebauten Schalter an P 2 oder P 1 die Batterie abgeschaltet werden. Die ganze Schaltung bauen wir kompakt auf einer kleinen Lötösenleiste mit Kleinteilen (1/10-W-Widerstände) auf, während wir die Ausgänge für HF und NF eventuell als Tastspitzen fest am Gehäuse – das dann in der Hand gehalten wird – montieren können. Eine Masseverbindung zum Prüfling ist meist nicht erforderlich und kann mit kurzer Prüfschnur und Krokodilklemme erfolgen.

3.1.2. Der Signalverfolger (Kontroll-Abhörverstärker)

Es handelt sich hier um einen in bekannter Weise aufgebauten, empfindlichen NF-Verstärker, der — da es nicht auf besondere Übertragungsqualität ankommt — relativ einfach ausgelegt sein kann (Bild 23). In den Vorstufen T 1 und T 2 — deren Betriebsspannung über 500 Ohm/50 μF entkoppelt ist — erfolgt die Stabilisation durch Anschluß der Basiswiderstände an die Kollektoren, so daß Emitterkombinationen entbehrlich sind. Falls die Wiedergabe verzerrt klingt (bei Musikwiedergabe prüfen), kann durch Vergrößerung der Basiswiderstände 100 kOhm von Fall zu Fall Abhilfe geschaffen werden, da der genaue Wert dieser Widerstände vom Stromverstärkungsfaktor des jeweiligen Transistors abhängt. Genauer läßt sich das durch Messung der am Kollektor von T 1 und T 2 stehenden Spannung prüfen, die bei richtig bemessenem Basiswiderstand etwa die Hälfte der Batteriespannung betragen soll. Die Endstufe wird hier einfachheitshalber in Eintaktschaltung ausgeführt, da man für den vorgesehenen Verwendungszweck keine übermäßig große Lautstärke benötigt. Den Kollektorstrom des Endtransistors T 3 stellen wir mit R 1 auf etwa 15 bis 20 mA ein. Als Ausgangstrafo eignet sich der „Sternchen"-Ausgangsübertrager Typ K 21, dessen grüner Mittelanschluß frei bleibt.

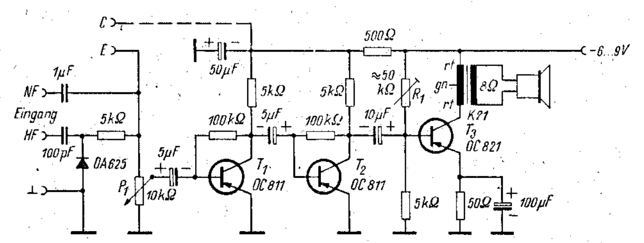


Bild 23 Signalverfolger (Kontrollverstärker). Erklärung im Text. Die angedeuteten Anschlüsse C und E können für die Rauschfaktorprüfung von Transistoren (Prinzip nach Bild 8) benutzt werden. Der 100-μF-Elko ist umzupolen; der Kondensator im NF-Eingang hat 0,1 μF/500 V.

Damit der Verstärker ausreichende Empfindlichkeit hat, müssen die Transistoren T 1 und T 2 hohe Stromverstärkung (wenigstens 50 bis 60, besser um 80 bis 90) aufweisen, T 3 soll ebenfalls eine Stromverstärkung von wenigstens 30 bis 35 haben. Sind nur Transistoren mit geringerer Stromverstärkung vorhanden, so muß eine Verstärkerstufe mehr vorgesehen werden. Sie wird ebenso wie T 1 oder T 2 geschaltet und zwischen diese beiden Stufen eingefügt. Diese Lösung ist aber ungünstiger, da dann Transistor T 1 unter Umständen schon ein relativ starkes, im Betrieb störendes Rauschen verursacht. Für T 1 soll von den vorhandenen Transistoren derjenige mit der höchsten Stromverstärkung und dem geringsten Rauschen eingesetzt werden (versuchsweise untereinander austauschen). Wenn Auswahlmöglichkeiten bestehen, empfiehlt sich für T 1 in jedem Fall ein rauscharmes Exemplar.

Erwähnt sei hier, daß bei Vorhandensein dieses Verstärkers auf die Anfertigung eines Rauschfaktor-Testers (Abschnitt A. 5.) verzichtet werden kann. Den auf Rauschen zu prüfenden Transistor schließen wir mit seinem Kollektor am Minuspol des 50-μF-Elkos, mit dem Emitter am oberen Ende von P 1 an, wobei wir entsprechende Buchsen (in Bild 23 punktiert angedeutet) von vornherein vorsehen können. Die Betriebsspannung soll dann jedoch nicht mehr als 6 V betragen.

P 1 ist der Lautstärkeregler (Eingangsempfindlichkeit). NF-Spannungen werden an dem mit „NF" bezeichneten Eingang angeschlossen. Der Koppelkondensator 0,1 μF am NF-Eingang soll ein Becher- oder Rollenkondensator (MP-Kondensator) für 500 V sein, um auch Punkte höherer Spannung in Empfängern antasten zu können. Punkte mit hoher NF-Spannung (Anoden von Verstärkerröhren) können ebenfalls abgehört werden, wenn man dem NF-Eingang einen Widerstand von 100 kOhm oder 1MOhm vorschaltet. HF-Spannungen (z. B. von Anoden der ZF-Röhren im Empfänger) hören wir über den HF-Eingang ab. Eine Diode OA 625 (günstiger

OA 685, OA 705) demoduliert die HF-Spannung, die NF-Modulation wird dem Lautstärkeregler P 1 zugeführt. Die HF-Ausgangsspannung des im vorigen Abschnitt beschriebenen Signalinjektors kann also der Antennenbuchse oder dem Mischröhrengitter eines Empfängers zugeführt werden. An der Anode der Mischröhre oder einer ZF-Röhre greift man die „injizierte“ Multivibratorspannung ab und führt sie dem HF-Eingang des Signalverfolgers zu, wo sie demoduliert und hörbar gemacht wird. Sinngemäß lassen sich Transistorgeräte (Empfänger, Verstärker usw.) stufenweise untersuchen.

Wenn wir die Hinweise bezüglich der Transistoren beachten, ist der Signalverfolger-Verstärker so empfindlich, daß wir an den NF-Eingang bereits ein Mikrofon unmittelbar anschließen können. Der HF-Eingang gestattet dann oftmals, daß man bereits beim Anstecken einiger Meter losen Drahtes ohne jede Abstimmung den nächstgelegenen Mittelwellensender empfängt. Bei Anschluß von Hochantenne und Erde an den HF-Eingang wird bereits ein Durcheinander zahlloser Stationen hörbar. Dies kann als Kriterium dienen, ob die Verstärkung des Gerätes mit insgesamt 3 Transistoren ausreicht oder ob eine zusätzliche Stufe notwendig ist. Als Batterien sind angesichts des nicht unbeträchtlichen Stromverbrauchs und der relativ stark schwankenden Belastung bei großen Lautstärken 4 bis 5 Monozellen, für größere Lautstärke auch 6 Monozellen je 1,5 V geeignet. Ihr geringer Innenwiderstand vermeidet gleichzeitig Verkopplungserscheinungen (Blubbern oder Selbsterregung) bei großer Lautstärke. Als Lautsprecher verwenden wir am besten einen „Sternchen“-Kleinlautsprecher, mit dem das Gerät ausreichend klein und kompakt aufgebaut werden kann.

3.2. Pegel-Anzeigevorrichtung für Transistor-NF-Anlagen

Bei transistorbestückten Verstärkeranlagen, Batterie-Tonbandgeräten mit Transistoren und ähnlichem ist

häufig eine Aussteuerungskontrolle erforderlich. Bei sehr klein gebauten Transistorgeräten läßt sich diese Aufgabe jedoch nicht einfach lösen. Unter den verschiedenen für Aussteuerungskontrollen bekannten Verfahren scheiden die Anzeige durch Glimmlampen und durch „Magisches Auge“ oder andere Indikatorröhren aus, weil die für deren Betrieb nötigen hohen Spannungen in der Transistoranlage nicht vorhanden sind. Bisher blieb nur eine Anzeige mit Drehspul-Meßwerk übrig. Sie ist jedoch wegen des Platzbedarfs und der Stoßempfindlichkeit entsprechender Instrumente gleichfalls ungünstig. Entweder wird ein teures Mikroamperemeter benötigt, oder wir benutzen ein Milliamperemeter mit Transistor-Anzeigeverstärker, das wiederum einen großen Aufwand erfordert und kein genaues Messen gestattet.
Hier kann ein neuartiges, für die Transistor-Elektronik typisches Anzeigeverfahren benutzt werden, das alle Anforderungen an eine Übersteuerungskontrolle erfüllt und dabei im Gesamtaufwand wesentlich billiger und räumlich kleiner ist als selbst ein mittelmäßiges Meßwerk. Zur Anzeige der Aussteuerungsgrenze (maximaler NF-Pegel) wird ein kleines Lämpchen benutzt.

Es ist nicht möglich, die zu kontrollierende NF gleichzurichten und mit ihr einen Transistor anzusteuern, der seinerseits den Lampenstrom beeinflußt. Durch die Wärmeträgheit der Anzeigelampe würden dann kurze Pegelspitzen (Störimpulse und kurzzeitige Übersteuerungen) nicht angezeigt werden.

Bild 24 zeigt die Schaltung des Transistor-Pegelkontrollgeräts. Das Prinzip beruht auf einem monostabilen Multivibrator. Das ist eine Impulsschaltung, die einen einzigen definierten Schaltzustand (Lampe aus) hat. Durch NF-Spannungen, die eine bestimmte einstellbare Höhe — die Aussteuerungsgrenze — überschreiten, wird der Multivibrator zum „Umklappen“ gebracht, das heißt, die beiden Schalttransistoren wechseln ihre Betriebszustände und schalten die Lampe ein. Dieses „Um-

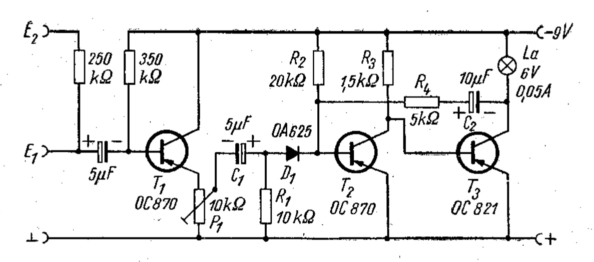


Bild 24 Schaltung des Transistor-Pegelkontrollgeräts für NF-Verstärkeranlagen. Das Anzeigeorgan ist die Lampe La, die Schaltung arbeitet nach dem Prinzip des monostabilen Multivibrators. Erklärung im Text

klappen“ lösen schon sehr kurze Spannungsimpulse aus. Die Lampe wird unabhängig von der Höhe der NF-Spannung, durch die das „Umklappen“ erfolgt, an die volle Batteriespannung geschaltet und brennt daher mit voller Helligkeit. Nach einer bestimmten, durch die Dimensionierung des Multivibrators festgelegten und von Höhe und Dauer der auslösenden NF-Spannung ebenfalls unabhängigen Zeit „klappt“ der Multivibrator zurück und schaltet die Lampe wieder ab. Dadurch erreicht man, daß die Lampe auch bei kurzen, die Ansprechgrenze nur wenig übersteigenden NF-Impulsen so lange an die volle Batteriespannung geschaltet wird, daß sie deutlich sichtbar aufleuchtet. Wenn die NF-Spannung nach dem Zurückkippen des Multivibrators noch immer die Ansprechgrenze übersteigt, wird der Multivibrator sofort erneut ausgelöst und schaltet die Lampe wieder ein, in diesem Falle blinkt die Lampe also rhythmisch auf.

In Bild 24 sind T 2 und T 3 die Transistoren des Multivibrators. Im Ruhezustand ist Transistor T 2 durchgesteuert, da er über R 2, D 1 (für diesen Stromkreis in Durchlaßrichtung gepolt) und R 1 eine Basisvorspannung bekommt. R 1 + D 1 und R 2 sind dabei so dimensioniert, daß T 2 voll durchgesteuert ist. Am Kollektor des Transistors T 3 liegt daher eine sehr geringe Spannung an, so daß T 3 nicht durchsteuert und somit

die im Kollektorkreis liegende Anzeigelampe La abschaltet.

Es sei angenommen, daß parallel zu R 1 jetzt eine NF-Spannung anliegt. Sie wird von D 1 gleichgerichtet, wodurch die Basis von T 2 positiver wird. Dadurch steigt am Kollektor von T 2 die Spannung, was zu einem Ansteuern von T 3 und Spannungsabfall an dessen Kollektor führt (Lampe La wirkt dabei als Kollektorwiderstand für T 3). Dieser Spannungsabfall wird über C 2 und R 4 zur Basis von T 2 rückgekoppelt, macht diese noch positiver und so weiter, so daß es zu sofortiger Sperrung von T 2 und folglich zur Durchsteuerung von T 3 (der jetzt über R 3 einen starken Basisstrom erhält) kommt. Lampe La leuchtet auf. Dieser Schaltzustand bleibt so lange bestehen, wie die Umladung von C 2 über Minus, R 2, R 4, C 2, T 3-Kollektor-Emitter, Plus andauert. Die Werte von R 2, R 4 und C 2 bestimmen also die Zeitdauer des Aufleuchtens der Lampe, wobei es ohne Bedeutung ist, ob an R 1 jetzt noch NF-Spannung anliegt oder nicht. Nach beendeter Umladung von C 2 bekommt T 2 über R 2 wieder Basisstrom, womit der oben geschilderte Vorgang umgekehrt abläuft und der Multivibrator zurückkippt. Die Zeitdauer, bis der Multivibrator nach dem Zurückkippen (T 2 wieder durchgesteuert, T 3 gesperrt und La aus) wieder reagiert („Erholungszeit"), hängt im wesentlichen von R 4 und C 2 ab, ist also wesentlich kürzer als die Leuchtzeit und liegt in der Größenordnung der Lampenträgheit. Die Leuchtzeit der Lampe und damit der Blinkrhythmus bei andauernder Übersteuerung liegt mit der in Bild 24 angegebenen Dimensionierung um 0,3 bis 0,4 Sekunden.

Die Diode D 1 ist in Durchlaßrichtung mit dem Wert der Basis-Emitter-Spannung von T 2 vorgespannt. Ihre Richtwirkung wird wirksam, sobald der Wert der NF-Spannung den Betrag der Vorspannung (etwa 0,2 bis 0,25 V) übersteigt. Die Einrichtung spricht daher schon auf NF-Spannungen von 0,3 V ~ sicher an. Das ist ein Wert, der im Gegensatz zu Meßwerkanzeigen den Ge-

gebenheiten von Transistorgeräten, die ja meist mit niedrigen NF-Spannungspegeln arbeiten, entgegenkommt. Mit P 1 stellen wir die genaue Ansprechempfindlichkeit entsprechend der anzuzeigenden Übersteuerungsgrenze ein. Einmalige Pegelspitzen (Knackgeräusche u. ä.) werden durch Aufblinken der Lampe und ein ständiges Übersteuern durch rhythmisches Blinklicht angezeigt, wenn die NF-Spannung den mit P 1 eingestellten Schwellwert auch nur um geringe Beträge überschreitet. Bei starken Übersteuerungen wird Dauerlicht angezeigt, da dann die Richtspannung der Diode T 2 völlig sperrt und damit den Multivibrator am Zurückkippen hindert.

Wichtig für die einwandfreie Funktion ist ein niedriger Innenwiderstand der NF-Quelle, um Rückwirkungen des Pegelanzeigers auf die Quelle (Klirrfaktorsteigerung durch die Belastung mit der nichtlinearen Diodenkennlinie) zu vermeiden. Außerdem würde es die Quelle relativ stark belasten. Bei niederohmigen Quellen (Lautsprecherausgänge von einigen Ohm) ist das bedeutungslos. Hier können wir P 1 direkt an die Quelle anschließen, während T 1 entfällt, wobei P 1 auf 1 kOhm oder sogar 100 Ohm verringert wird. Um hochohmige Quellen (Aufsprechleitungen in Bandgeräten, Übertragungsleitungen, Verbindungsleitung zwischen Vorverstärker und Hauptverstärker usw.) kontrollieren zu können, muß der Eingangsscheinwiderstand des Pegelanzeigers höher sein. Das erreichen wir, indem eine Kollektorstufe (Impedanzwandler) mit T 1 vorgeschaltet wird. Je höher dabei die Stromverstärkung von T 1 ist, um so höher ist der Eingangswiderstand der Anordnung. Im Mustergerät des Verfassers wurde für T 1 der Transistor OC 870 mit einer Stromverstärkung von nur 30 verwendet. Der Eingangsscheinwiderstand für Eingang E_1 (Empfindlichkeit 0,3 V) betrug dabei 30 kOhm. Eingang E_2 war für den Studio-Normpegel $+$ 12 dB. abs. ($\approx$ 3,1 V $\sim$) gedacht (Leitungsüberwachung im Studiobetrieb, wobei ein ganzes Leitungsbündel durch dicht

nebeneinander angeordnete Pegelanzeiger auf Modulation beobachtet werden kann) und wies bei einem Eingangswiderstand von 280 kOhm eine Empfindlichkeit von etwa 2,5 V ~ auf, die mit P 1 auf genau 3,1 V eingestellt wurde. Im allgemeinen verwendet man höhere Stromverstärkungen für T 1, da der Eingangswiderstand proportional mit dem Stromverstärkungsfaktor wächst. Der Basiswiderstand für T 1 muß je nach

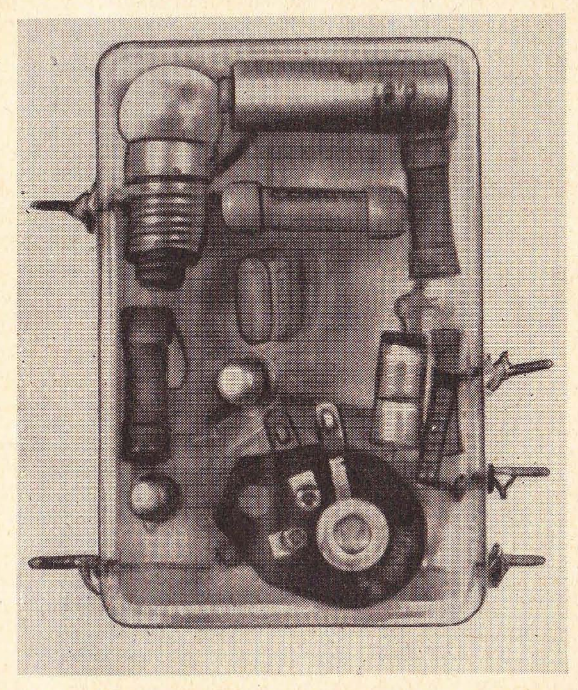


Bild 25 Das Mustergerät des Pegelanzeigers nach Bild 24 wurde in eine kleine Polystyrolschachtel eingebaut. Die durch das Gehäuse erkennbare Anzeigelampe (links oben) gibt einen Größenvergleich. In Bildmitte unten der Regler P 1, mit Schraubenzieher durch eine Gehäuseöffnung zugänglich

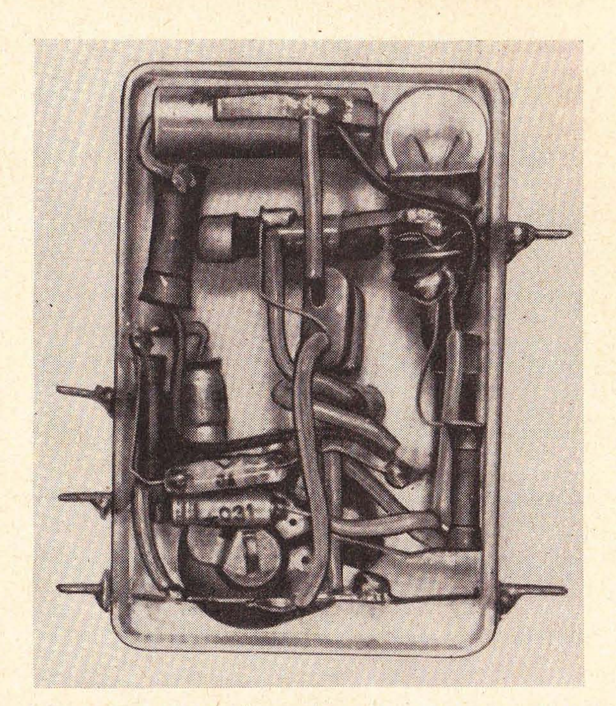


Bild 26 Der geöffnete Pegelanzeiger. Rechts oben die Lampe, in Gerätemitte Transistor T 3, unten verdeckt P 1. Der Aufbau kann bei Bedarf mühelos auf die halbe Größe komprimiert werden

Exemplar so bemessen werden, daß an P 1 etwa die halbe Batteriespannung anliegt.

Für T 2 und T 3 genügen Exemplare mit mittleren Werten der Stromverstärkung (im Versuchsmuster ebenfalls um 30) und nicht zu hohem Kollektor-Reststrom. Die Werte für R 1 bis R 4 sind relativ kritisch und transistorabhängig. Daher müssen wir sie von Fall zu Fall genau ausprobieren, wobei kleine Einstellregler die ersten Versuche unterstützen. Für T 1 und T 2 kommen alle üblichen Transistoren der Leistungsklasse bis 150 mW (OC 810 ··· 813, OC 824 ··· 829

usw.) in Frage, T 3 muß eine 150-mW-Ausführung sein. Als Lampe dürfen wir nur die Typen 6 V/0,05 A oder 10 V/0,05 A (träge aufleuchtend) benutzen, da sonst T 3 beschädigt werden kann. Auch die billigen „Bastler"-Transistoren sind — wenn sie den genannten Anforderungen entsprechen — ohne weiteres zu verwenden. Das selbstgebastelte komplette Gerät hat einen bedeutend niedrigeren Anschaffungswert als das billigste Meßinstrument.
Die Bilder 25 und 26 geben einen Eindruck von dem nicht besonders platzsparend aufgebauten Mustergerät (einen Größenvergleich ermöglicht die ohne Sockel direkt eingelötete normale Anzeigelampe La.). Der Aufbau ist sehr einfach. Wenn wir eine Transistoranlage verwenden, können Schaltung und Anzeigelampe getrennt und an den günstigsten Stellen untergebracht werden. Der Strombedarf beträgt im Ruhezustand nur etwa 6 bis 8 mA und entspricht im angesteuerten Zustand dem Lampenstrom.

3.3. Pegelmesser für NF-Anlagen mit normgerechter Anzeige

Der hier beschriebene Pegelmesser (Bild 27) ist für hochwertige NF-Anlagen (Studio-Anlagen) zu verwenden. Zur Pegelkontrolle wird ein Zeigerinstrument benutzt. Für die Anzeige nach Studio-Norm ergeben sich bestimmte Forderungen, die durch eine einfache Gleichrichtung und Messung der NF-Spannung nicht zu erfüllen sind. Die hochwertigen Aussteuerungsmesser werden nach speziellen Röhrenschaltungen aufgebaut, die ein Amateur jedoch nicht voll ausnutzen kann. Wie ein der Studio-Norm angenäherter Aussteuerungsmesser auf Halbleiterbasis relativ einfach aufgebaut werden kann, zeigt Bild 27. Ein hochwertiges Anzeigeinstrument (Mikroamperemeter mit 25 μA Vollausschlag und großer Skala) ist natürlich Voraussetzung. Dieser Aufwand lohnt nur bei hochwertigen NF-An-

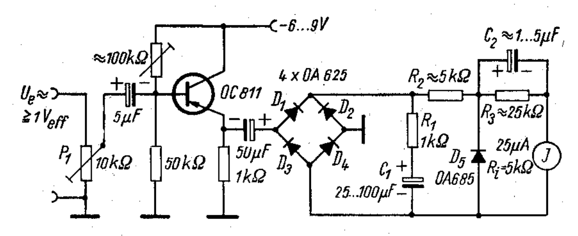


Bild 27 Schaltung eines hochwertigen Aussteuerungsmessers für das Amateur-Tonstudio. Erklärung im Text.

lagen, dann sollte aber auch die Anzeigecharakteristik der Norm entsprechend ausgelegt werden.

An einen guten Tonmesser werden folgende Forderungen gestellt:

– Anzeige des Spitzenwerts der NF-Spannung;
– geringe Ansprechträgheit, damit auch kurze Spitzen registriert werden;
– höhere Abklingträgheit, um ein „Zappeln“ des Zeigers bei kurzen Spannungsspitzen zu vermeiden und ein einwandfreies Ablesen zu ermöglichen;
– logarithmischer Skalenverlauf (Zusammendrängung der Skala am unteren Ende), damit auch Pegel von wenigstens 40 dB (1 : 100) unter Vollaussteuerung noch einwandfrei abzulesen sind. (Der Pegel soll auf wenigstens 2 dB genau ablesbar sein, was für Amateurzwecke ausreicht.)

Diese Forderungen erfüllt die Schaltung nach Bild 27.

Die Kollektorstufe mit dem Transistor OC 811 (hierfür ist jeder ähnliche Typ der Leistungsklasse bis 150 mW und Stromverstärkung von wenigstens 35 bis 40 zu verwenden) wirkt als Impedanzwandler, weil die eigentliche Anzeigeschaltung einen niedrigen Quellwiderstand erfordert, der Tonmessereingang aber meist hochohmig sein muß. Diese Kollektorstufe kann sinngemäß auch durch eine Anodenbasisstufe (EC 92 o. ä.) in der Röhrentechnik ersetzt werden.

4 Germaniumdioden D 1 bis 4 (anstelle der OA 625 sind auch Flächendioden OY 100 geeignet) richten die NF-Spannung gleich. C 1 bewirkt die erforderliche Abklingverzögerung, seine Größe wird je nach deren gewünschtem Wert bemessen. R 1 verhindert eine zu starke Belastung der Quelle und Vergrößerung der Ansprechträgheit durch C 1. R 2 und die Diode D 5 (hierfür ist die OA 685 am besten geeignet) bewirken den gewünschten logarithmischen Skalenverlauf, der durch entsprechende Bemessung von R 2 je nach den Exemplareigenschaften von D 5 genau festgelegt werden kann. Die Nichtlinearität wird hier durch die Diodenkennlinie (nichtlinearer Widerstand) erreicht. C 2 ist maßgebend für die Ansprechträgheit (schnelles Ansprechen), sein genauer Wert und der des Widerstandes R 3 hängen von den mechanischen Eigenschaften des benutzten Meßwerkes ab, das nicht sehr träg sein darf. Die angegebenen Richtwerte gelten für ein Instrument 25 μA mit einem Innenwiderstand von 5 kOhm. Mit P 1 erfolgt nach Festlegung aller anderen Werte die genaue Pegeleichung auf 0 dB = 1,55 V $\sim$. Der Basis-Regelwiderstand des Transistors wird so eingestellt, daß am Emitter die halbe Betriebsspannung steht.
Die genauen Werte werden je nach vorhandenem Meßwerk festzulegen sein, Bild 27 soll im übrigen nur eine Schaltungsanregung für den Aufbau eines Studio-Tonmessers mit amateurmäßigen Mitteln geben. Bei größeren Tonanlagen mit Mischeinrichtung lohnt sich auch beim Amateur der Aufwand für einen guten Tonmesser.

Literaturverzeichnis

[1] Fischer, H. J.: Transistortechnik für den Funkamateur, 2. Aufl., Berlin 1962

[2] Schubert, K. H.: Das große Radiobastelbuch, Berlin 1962

[3] Autorenkollektiv: Amateurfunk, 3. Aufl., Berlin 1962

[4] Zeitschrift „funkamateur“, Berlin, ab Jahrgang 1958

[5] Zeitschrift „radio und fernsehen“, Berlin, ab Jahrgang 1957

[6] Zeitschrift „Jugend und Technik“, Berlin, ab Jahrgang 1961

[7] Broschürenreihe „Der praktische Funkamateur“

Heft 6: Häusler, Frequenzmesser

Heft 8 und 9: Schubert, Praktisches Radiobasteln I und II

Heft 12: Fußnegger, Meßtechnik für den Kurzwellenamateur

Heft 16: Schubert, Praktisches Radiobasteln III

Heft 17: Fischer/Blos, Transistortaschenempfänger selbstgebaut

Heft 18: Jakubaschk, Meßplatz des Amateurs

Heft 20: Jakubaschk, Transistorschaltungen, Teil I

Heft 26: Schlenzig, Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur, Teil I

Heft 28: Jakubaschk, Elektronikschaltungen für Amateure

Heft 30: Streng, NF-Verstärker-Meßtechnik

Heft 31: Schlenzig, Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur, Teil II

Heft 35: Jakubaschk, Transistorschaltungen, Teil II

Inhalt

Der praktische Funkamateur

Heft 1	K. Andrae	Der Weg zur Kurzwelle (3. Aufl. 1963)
Heft 2	H. Jakubaschk	Tonbandgeräte selbstgebaut (3. Aufl. 1962)
Heft 4	H. Jakubaschk	Tonband-Aufnahmepraxis (3. Aufl. 1962)
Heft 5	H. Brauer	Vorsatzgeräte f. d. Kurzwellenempfang (2. Aufl. 1962)
Heft 7	E. Scheller	Fuchsjagd-Peilempfänger Fuchsjagd-Peilsender (2. Aufl. 1962)
Heft 8	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln I (2. Aufl. 1961)
Heft 9	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln II (2. Aufl. 1961)
Heft 10	O. Morgenroth	Vom Schaltzeichen zum Empfängerschaltbild (2. Aufl. 1962)
Heft 11	Autorenkollektiv	Amateurfunkprüfung in Frage und Antwort (2. Aufl. 1963)
Heft 12	F. W. Fußnegger	Meßtechnik für den Kurzwellenamateur
Heft 13	K.-H. Schubert	Miniaturröhren und ihre Schaltungstechnik (2. Aufl. 1962)
Heft 14	H. Jakubaschk	Fernsehempfänger selbstgebaut (2. Aufl. 1962)
Heft 15	K. Rothammel	UKW-Amateurfunk (2. Aufl. — Doppelband — 1963)
Heft 16	K.-H. Schubert	Praktisches Radiobasteln III
Heft 17	Fischer/Blos	Transistor-Taschenempfänger selbstgebaut (3. Aufl. 1963)
Heft 18	H. Jakubaschk	Meßplatz des Amateurs

Heft 19	Th. Reck	Höchstfrequenztechnik und Amateurfunk
Heft 20	H. Jakubaschk	Transistorschaltungen I (3. Aufl. 1962)
Heft 21	O. Kronjäger	Formelsammlung f. d. Funkamateur (2. Aufl. 1963)
Heft 22	W. Schurig	Fernsehtechnik u. Fernsehpraxis
Heft 23	O. Morgenroth	Funktechnische Bauelemente Teil I (2. Aufl. 1962)
Heft 24	R. Schmidt	Schwingungserzeugung mit Elektronenröhren
Heft 25	K. K. Streng	Niederfrequenzverstärker
Heft 26	K. Schlenzig	Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur Teil I
Heft 27	T. Pricks	UKW-Vorsatzgeräte Teil I
Heft 28	H. Jakubaschk	Elektronikschaltungen für Amateure
Heft 29	K.-H. Neumann	Funktechnische Satellitenbeobachtung
Heft 30	K. K. Streng	NF-Verstärker-Meßtechnik
Heft 31	K. Schlenzig	Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur Teil II: Praxis (mit Leiterplatte)
Heft 32	H. Brauer	Modulationsarten und Modulatorschaltungen
Heft 33	Th. Reck	UHF-Empfänger
Heft 34	H. J. Fischer	Einführung in die Dioden- und Transistortechnik
Heft 35	H. Jakubaschk	Transistorschaltungen II
Heft 36	K.-H. Schubert	Elektrotechnische Grundlagen Teil I: Gleichstromtechnik

1.—10. Tausend
Deutscher Militärverlag, Berlin 1963
Lizenz-Nr. 5
Zeichnungen: Brigitta Westphal
Lektor: Wolfgang Stammler
Vorauskorrektor: Evelyn Lemke
Hersteller: Jürgen Hecht
Gesamtherstellung: (204) VEB Graphische Werkstätten Berlin,
Werk I, 10 4214
EVP: 1,90 DM



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG